



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**GEORGYNIO YOSSIMAR ROSALES AYLAS**

**Análise da influência da especificação do uso e ocupação do  
solo e do uso da técnica de assimilação de dados meteorológicos na  
performance do modelo WRF**

**VITÓRIA - 2017**

GEORGYNIO YOSSIMAR ROSALES AYLAS

**Análise da influência da especificação do uso e ocupação do solo e do uso da  
técnica de assimilação de dados meteorológicos na performance do modelo  
WRF**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Poluição do Ar

Orientador: Prof. Dr. Neyval Costa Reis Júnior

Orientador: Profa. Dra. Jane Meri Santos

Co-Orientadora: Profa. Dra. Taciana Toledo de Almeida Albuquerque

**VITÓRIA - 2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ter me dado forças para seguir o caminho da busca do conhecimento e capacidade para concluir a dissertação.

Ao Wesley Correa, por ter me ajudado com o trabalho preliminar para fornecimento de dados de entrada das simulações.

Aos amigos Alexandre Magalhaes Santiago, Elson Silva Galvão e Juan Felipe Medina pelo apoio, amizade e ajuda durante os estudos e problemas encontrados durante a realização do mestrado.

Ao RU por ajudar-me com a minha alimentação por 1,50 reais.

Ao Felipe e Clevi que tiveram o tempo para tentar me ajudar a entender um pouco cada vez a cultura Brasileira.

Ao programa Becas OEA-GCUB pela ajuda fornecida para a realização do mestrado.

Ao IEMA pela disponibilidade de dados para pesquisa, em especial ao NQUALIAR pertencente ao PPGA-UFES por a disponibilização de infraestrutura.

Ao apoio financeiro da CAPES.

A todas as pessoas que de uma ou outra forma me ajudaram neste processo.

Dedico este trabalho a minha família e em especial aos meus pais Moises e Maria Elena, que apoiaram-me e incentivaram para concluir de forma satisfatória o Mestrado.



## RESUMO

Os modelos de qualidade do ar requerem campos meteorológicos e dados geográficos acurados para fazer a correta modelagem do transporte químico. Para este fim, na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) utiliza-se o modelo numérico de mesoescala WRF. A propriedade física e biológica da superfície terrestre tem sido afetada progressivamente como consequência da mudança de uso do solo. Isto deve-se principalmente à urbanização e práticas agrícolas e de floresta. No entanto, o problema de usar parâmetros como a cobertura de solo fornecidos pelo USGS é que são disponibilizados com data de atualização em 1993. Além disso, tem-se o alto custo computacional da assimilação de dados reais (dados meteorológicos de observação) para obter previsões mais acuradas. Para o qual tem-se como objetivo principal avaliar a influência da especificação de dados de entrada referentes ao uso e cobertura da terra, juntamente com a assimilação de dados meteorológicos (observações diretas) para avaliar o desempenho do modelo WRF para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

Como parte do trabalho de gerar dados geográficos acurados foi realizado análises de imagens de satélite. Estas fornecem dados de excelente qualidade, com informações suficientes para gerar os dados geográficos desejados. Por tanto, trabalhou-se especificamente para uma área pequena de 120km x 120km que abrange toda a RMGV e é centrado na Estação Aeroporto. Por outro lado, para fazer o tratamento de dados com o objetivo de implementar a base de dados geográficos novos para a RMGV foram seguidos vários passos. Estas foram agrupados no pré-processamento de imagens para o Uso e cobertura da terra com as 24 categorias de Uso do solo sugerido pela USGS e as equivalências para o sistema brasileiro para a área da RMGV. No entanto, para a Granulometria e textura não teve maior problema do que acurar as informações existentes, assim como para a Topografia. De resto, para a Assimilação de dados em quatro dimensões (FDDA), o relaxamento Newtoniano ou *nudging* (método de assimilação de dados contínuo que ajusta as variáveis dinâmicas do modelo gradualmente para as observações mediante a adição de uma ou mais equações prognósticas) foram gerados arquivos contendo relatórios dos registros de dados meteorológicos superficiais da Estação Aeroporto. Em consequência, o desempenho da modelagem da direção e velocidade do vento e temperatura, utilizando para a modelagem a base de dados geográfica atualizada teve uma leve melhora com parado com o uso da fonte de dados USGS. Embora, não todos os meses atingiram as faixas para os indicadores

sugeridas para todas as estações. No entanto, para avaliar o desempenho da modelagem da direção e velocidade do vento e a temperatura para todas as estações, fazendo uso dos dados geográficos atualizados com a influência do *nudging* afetando o domínio d01 melhora em todos os meses. Assim, quando é utilizado a influência do *nudging* para domínio d01 e d02 juntos melhora as modelagens ainda mais que quando for influenciado só o domínio d02.

Palavras Chaves: WRF, Influência do uso e ocupação do solo, Assimilação de dados.

## ABSTRACT

Air quality models require accurate meteorological fields and geographic data to make the correctly modeling of chemical transport. For this purpose, the Metropolitan Region of Greater Victoria (RMGV) uses the numerical mesoscale model WRF. The physical and biological property of the land surface has been progressively affected as a consequence of the change in land use. This is mainly due to urbanization and farming and forest practices. However, the problem about the use of parameters such as soil coverage provided by the USGS is that they are available with ultimate update date in 1993. In addition, there is the high computational cost about the assimilating of real data (observational meteorological data) to obtain more improve on the forecasts. For this purpose this study has the main goal evaluate the input datas regarding to land use and cover, together whit specification the meteorological assimilation data (pontual observations) to evaluate the performance of the WRF model for the Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

As part of the work of generating accurate spatial data, satellite image analysis was performed. These provide excellent data quality, with enough information to generate the desired geographic data. Therefore, we have worked specifically for a small 120km x 120km area that covers the RMGV whole and is centered at the Airport Station. On the other hand, to make the data treatment with the objective of implementing the new geographic database for the RMGV, several steps were followed. These was grouped on the preprocessing of images for the land use and cover with the 24 categories of land use suggested by the USGS and the equivalent to the brazilian sistem for the RMGV area. However, for soil granulometry and texture it had no greater problem than accurate the existing information, as well as to Topography. As well as, for the four-dimensional data assimilation (FDDA), the Newtonian relaxation or *nudging* (continuous data assimilation method that adjusts the model's dynamic variables gradually for observations by adding one or more prognostic equations) were generated files containing the reports of the surface meteorological data of the Aeroporto station. As a consequence, the modeling performance of the direction and speed of the wind and temperature. In consequence, the modeling performance of the speed and direction of the wind and temperature, using to modeling with updated geographical database has a slight improve compared with using USGS data source. Although, not every month they hit the flags for the suggested indicators for all seasons. However, to evaluate the modeling performance of wind direction and speed and temperature for all

seasons, making use of the updated geographic data with the influence of *nudging* affecting the domain d01 improvement in every month. Thus, when the influence of *nudging* for domain d02 is used, it improves modeling even more than when was used together domains d01 and d02 is influenced.

Key Words: WRF, influence of the land use and occupation, data assimilation.

## Lista de Figuras

1	Relevo Espírito Santo, Fonte: (ANTONGIOVANNI; COELHO, 2005) . . . . .	29
2	Localização espacial das estações da RAMQAr, que abrange o domínio menor (d02). . . . .	30
3	Triângulo textural, classes texturais da fração terra fina. Fonte: (IBGE, 2007)	38
4	Guia para grupamento de classes de textura. Fonte: (IBGE, 2007) . . . . .	39
5	Sistema $\eta$ de coordenadas verticais. Fonte: (ARW, 2014) . . . . .	49
6	Exemplo de aninhamento de grade permitido no WRF. Fonte: (ARW, 2014)	50
7	Grade aninhada do tipo C 1:3 e 1:2 respectivamente. Fonte:(ARW, 2014) . .	50
8	Diagrama de fluxo geral para edição de dados geográficos de entrada para o WPS. Fonte: ARW (2014) . . . . .	52
9	Formato por partes do relatório que contem os dados observacionais. Fonte, adaptado do ARW (2014) . . . . .	58
10	Esquema Cressman. Fonte, adaptado do ARW (2014) . . . . .	58
11	Esquema Elipse. Fonte, adaptado do ARW (2014) . . . . .	59
12	Esquema Elipse. Fonte, adaptado do ARW (2014) . . . . .	59
13	Diagrama de fluxo para o OBSGRID. Fonte: ARW (2014) . . . . .	60
14	Decrescimento do erro do modelo com o tempo, assumindo vários pesos do <i>nudging</i> . Tomado do: Reen (2016) . . . . .	61
15	Aninhamento de grades que abrange parte do estado de Espírito Santo (d01) e para a RMGV (d02). . . . .	63
16	Saída da interpolação do Relevo topográfico USGS . . . . .	71
17	Saída da interpolação do Relevo topográfico NOVOS . . . . .	71
18	Saída da interpolação das Categorias do uso do solo USGS . . . . .	73
19	Saída da interpolação das Categorias do uso do solo NOVOS . . . . .	73
20	Saída da interpolação das Categorias do tipo do solo USGS . . . . .	74
21	Saída da interpolação das Categorias do tipo do solo NOVOS . . . . .	74
22	Campo da temperatura do ar a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	77

22	(Campo da temperatura do ar a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	78
23	Campo de vento a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	79
23	(Campo de vento a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	80
24	Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	82
24	(Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	83
24	(Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	84
25	Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	86
25	(Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	87
25	(Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	88
26	Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Cariacica . . . . .	89
26	(Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Cariacica . . . . .	90
27	Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica . . . . .	91
27	(Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica . . . . .	92

28	Campo da temperatura do ar a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	93
28 (C61m)	Campo da temperatura do ar a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	94
29	Campo da velocidade do vento a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	95
29 (C61m)	Campo da velocidade do vento a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010 . . . . .	96
30	Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	97
30 (C61m)	Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	98
30 (C61m)	Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	99
31	Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	100
31 (C61m)	Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	101
31 (C61m)	Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica . . . . .	102
32	Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina, c) Enseada do Suá e d) Ibes . . . . .	103
32 (C61m)	Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina, c) Enseada do Suá e d) Ibes . . . . .	104

33	Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina e c) Cariacica . . . . .	105
33 (CD)	Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b)Carapina e c) Cariacica . . . . .	106
34	Rosa dos ventos para a Estação Aeroporto . . . . .	128
34 (CD)	Rosa dos ventos para a Estação Aeroporto . . . . .	129



## Lista de Tabelas

1	Classificação de uso e ocupação de solo para Vitória, adaptado do (RIOS et al., 2011) . . . . .	27
2	Uso e cobertura de solo, Espírito Santo - 2010 (LORENA et al., 2013). . . .	28
3	Caracterização geomorfológica do Estado do Espírito Santo. Fonte: (ANTONGIOVANNI; COELHO, 2005) . . . . .	28
4	Poluentes e Parâmetros meteorológicos em cada estação da RAMQAr. . . .	31
5	Disponibilidade e máximas registradas nas estações da rede RAMQAr para o 2010 . . . . .	31
6	Disponibilidade de dados de direção do vento mínimo para o 2010 . . . . .	32
7	Resumo dos registro de temperatura para o Ano 2010. . . . .	32
8	UGS-24 categorias de uso do solo USGS. Fonte: (ARW, 2014) . . . . .	35
9	Sistema básico de classificação da cobertura e do uso do solo, adaptado do (IBGE, 2006) . . . . .	36
10	16 categorias do solo USGS. Fonte: (ARW, 2014) . . . . .	37
11	Classes texturais primarias. Fonte: (IBGE, 2007) . . . . .	38
12	Sistemas de projeção disponíveis no WRF. Fonte (ARW, 2014) . . . . .	48
13	Agrupação de Categorias USGS de uso e cobertura da terra e equivalência aproximada para o sistema MODIS-IGBP (LIANG et al., 20005) e equivalência com as classes usados pelo sistema brasileiro (GLOBION, 2015) . . .	54
14	Armazenamento de arquivos de imagem, segundo (FILHO; NETO, 1999) . .	55
15	Especificações gerais para as rodadas . . . . .	64
16	Descrição da agrupação e renomeação das modelagens . . . . .	64
17	Coefficientes <i>nudging</i> usados para as modelagens . . . . .	65
18	Métricas dos indicadores estatísticos. Fonte: (EMERY et al., 2001) . . . .	68
19	Métricas da faixa de Indicadores estatísticos . . . . .	69
20	Contagem e proporção de pixels em intervalos de altitude na saída do <i>geogrid</i>	72
21	Contagem e proporção de pixels das classes de uso e cobertura de solo na saída do <i>geogrid</i> . . . . .	74
22	Contagem e proporção de pixels das classes do tipo de solo na saída do <i>geogrid</i>	75

23	Precipitação mensal acumulada . . . . .	106
A.1	Resumo estatístico velocidade do vento Estação Carapina . . . . .	116
A.2	Resumo estatístico velocidade do vento Estação Enseada do Suá . . . . .	117
A.3	Resumo estatístico velocidade do vento Estação Ibes . . . . .	118
A.4	Resumo estatístico velocidade do vento Estação Cariacica . . . . .	119
A.5	Resumo estatístico velocidade do vento Estação Aeroporto . . . . .	120
A.6	Resumo estatístico direção do vento Estação Carapina . . . . .	121
A.7	Resumo estatístico direção do vento Estação Enseada do Suá . . . . .	122
A.8	Resumo estatístico direção do vento Estação Ibes . . . . .	123
A.9	Resumo estatístico direção do vento Estação Aeroporto . . . . .	124
A.10	Resumo estatístico temperatura Estação Carapina . . . . .	125
A.11	Resumo estatístico temperatura Estação Cariacica . . . . .	126
A.12	Resumo estatístico temperatura Estação Aeroporto . . . . .	127

## LISTA DE SIGLAS

GFS	Global Forecasts System
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
UKMO	United Kingdom Model
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
WRF	Weather Research Forecast
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
CLP	Camada Limite Planetária
CLA	Camada Limite Atmosférica
RAMQAr	Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar
CMAQ	COMMunity Multiscale Air Quality MOdeling
USGS	United States Geological Survey
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
CORINE	Coordination of Information on the Environment
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
CONUS	Conterminous Estados Unidos
NARR	North American Regional Reanalysis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
DEM	Digital Elevation Model
MMM	Meso-scale and Micro-scale Meteorology
NCEP	NAtional Centers for Environmental Prediction
FSL	Forecast System Laboratory
AFWA	Air Force Weather
NRL	Naval Research Laboratory
FAA	Federal Aviation Administration
CC	Condições de Contorno
FG	Fine Grid
CG	Coarse Grid
SIG	Sistema e informação Geográfica
UTM	Universal Transversal de Mercator

IEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hidricos do Espirito Santo
SRC	Sistema de Coordenadas de Referencia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
WGS	World Geodesic System
OBSGRID	Objective Analysis
NCL	NCAR Command Language
MB	Mean Bias
MAGE	Mean Absolute Gross Error
RMSE	Root Mean Square Error
IOA	Index of Agreement
DV	Direção do Vento
VV	Velocidade do Vento
UR	Umidade Relativa
PP	Precipitação
P	Pressão
T	Temperatura
I	Radiação solar
FDDA	Four dimensional data assimilation

# Tabela de Conteudos

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REGIÃO DE ESTUDO</b>	<b>26</b>
2.1	Região Metropolitana da Grande Vitoria . . . . .	26
2.2	Uso do solo no Espírito Santo . . . . .	27
2.3	Relevo topográfico Espirito Santo . . . . .	27
2.4	Monitoramento Meteorológico e da Qualidade do Ar . . . . .	29
2.4.1	Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória . . . . .	29
2.4.2	Vento predominante . . . . .	31
2.4.3	Direção do vento . . . . .	32
2.4.4	Temperatura média . . . . .	32
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>33</b>
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	33
3.1.1	Categorias de uso do solo . . . . .	33
3.1.1.1	Sistema de classificação do uso do solo . . . . .	34
3.1.2	Granulometria e textura . . . . .	36
3.1.2.1	Granulometria e textura . . . . .	37
3.1.2.2	Grupamento de classes e texturas . . . . .	38
3.1.3	Topografia . . . . .	39
3.1.3.1	Relevo topográfico do Brasil . . . . .	39
3.1.4	Assimilação de Dados . . . . .	40
3.2	Estado do Arte . . . . .	42
3.2.1	Relevo topográfico e Uso e cobertura da terra . . . . .	42
3.2.2	Assimilação de dados de quatro dimensões (nudging-observational) . . . . .	44
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>46</b>
4.1	Modelagem meteorológica numérica: O modelo WRF . . . . .	46
4.1.1	Equações Governantes . . . . .	46

4.1.2	Sistema de Coordenadas . . . . .	48
4.1.2.1	Coordenadas Horizontais . . . . .	48
4.1.2.2	Coordenadas Verticais . . . . .	48
4.1.3	Aninhamento de Grades . . . . .	49
4.2	Tratamento de dados Geográficos . . . . .	51
4.2.1	Preparação dos arquivos de entrada para o WRF . . . . .	55
4.2.1.1	Edição do novo arquivo INDEX . . . . .	55
4.2.2	Edição do arquivo GEOGRID.TBL . . . . .	56
4.3	Assimilação de dados em quatro dimensões (FDDA) . . . . .	57
4.3.1	Análise Objetiva no OBSGRID . . . . .	57
4.3.2	O nudging . . . . .	60
4.4	Configuração experimental . . . . .	62
4.4.1	Especificações para as rodadas . . . . .	62
4.4.2	Ativando o nudging observacional . . . . .	64
4.5	Avaliação das simulações numéricas . . . . .	65
4.5.1	Cálculos da velocidade e direção do vento . . . . .	65
4.5.2	Análises do desempenho do modelo . . . . .	66
4.5.3	Benchmarks - faixa de variação especiais para os indicadores estatísticos	68
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>70</b>
5.1	Relevo e ocupação do solo . . . . .	70
5.1.1	Mapas . . . . .	70
5.1.1.1	Relevo . . . . .	70
5.1.1.2	Uso e ocupação da terra . . . . .	72
5.1.1.3	Tipo de solo . . . . .	73
5.1.2	Efeito das atualizações de relevo e uso do solo sobre os resultados das predições do modelo . . . . .	75
5.1.2.1	Temperatura do ar a 2m . . . . .	75
5.1.2.2	Velocidade do vento . . . . .	76
5.1.3	Impacto sobre o desempenho do modelo . . . . .	81
5.2	Assimilação de dados . . . . .	90
5.2.1	Efeito do <i>nudging</i> sobre os resultados das predições do modelo . . . .	91
5.2.1.1	Temperatura do ar a 2m . . . . .	92

5.2.1.2	velocidade do vento . . . . .	92
5.2.2	Impacto sobre o desempenho do modelo . . . . .	99
5.2.3	Precipitação . . . . .	103
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTU-</b>	
	<b>ROS</b>	<b>107</b>
6.1	Recomendações Para Trabalhos Futuros . . . . .	108
	<b>Anexos A</b>	<b>115</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A atmosfera é uma camada de gás fina que envolve o planeta, com cerca de 500-600km de altitude desde a superfície até o topo. Dividida em cinco camadas de acordo com a quantidade de radiação atmosférica que é absorvido. Desde o mais exterior até o mais próximo da superfície as camadas são divididos principalmente em; exosfera, termosfera, mesosfera, estratosfera e troposfera, esta última, é a camada que nos rodeia e é influenciada por as atividades humanas desenvolvidas e a vida nesta (STULL, 1988). A troposfera é considerada limpo quando apresenta composição natural que é requisito básico para a saúde e bem-estar da população. Nesse sentido, entende-se por poluição atmosférica a qualidade do ar que tem sido modificado (apresenta alteração) em relação a sua composição natural. Para o estudo da poluição do ar, comumente tem-se redes de monitoramento, os quais são limitados e focados em áreas específicas. Estas ferramentas são parte de programas de monitoramento da qualidade do ar, focado principalmente na avaliação continua da evolução e registro da qualidade do ar. Além dos dados de monitoramento, são necessários modelos de qualidade do ar para ajudar no estabelecimento/atualização de normas de qualidade do ar, avaliação de programas de redução de poluição atmosférica, elaboração de planos de contingência e replanejamento do uso e ocupação do solo com o objetivo de reduzir os efeitos da poluição atmosférica (VORMITTAG et al., 2014), daqui a importância de modelos que possam ajudar na previsão da qualidade do ar.

Os modelos de qualidade do ar utilizados para a predição podem ser classificados como; gaussianos, numéricos, estatísticos e físicos. Os modelos gaussianos consideram-se apropriadas para a estimação do impactos dos contaminantes não inertes, os modelos numéricos têm maior aplicação ao estimar a poluição do ar por fontes múltiplas que emitem contaminantes inertes, os modelos estatísticos são adequados quando não se conhece bem os processos físicos e químicos (SALAS, 2004). Todos estes modelos são amplamente usados por organizações encarregados de controlar a poluição do ar, identificando as contribuições de fonte e ajudam no desenho e planejamento de estratégias efetivas para o controle da poluição do ar.

Dentro dos modelos numéricos tem-se o modelo fotoquímico, este é composto por um módulo químico que serve para representar os processos de transformação química e de



fase, um módulo meteorológico que fornece os campos de ventos, temperatura, umidade, etc. Necessários para a solução das equações de continuidade de cada composto e um módulo que resolve os processos de transporte; estes módulos estão conectados com bases dados de inventário de emissões, topografia e usos da terra (EPA, 2016; SALAS, 2004).

O módulo meteorológico usa previsões pre-processadas por um modelo meteorológico global, para este fim existe um grande número de modelos desenvolvidos por diversas agências e órgãos meteorológicos, entre os quais temos principalmente: o Global Forecats System (GFS) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), United Kingdom Model (UKMO) modelo da Met Office, o Generic Model Environment (GME) desenvolvido pela Alemanha, o modelo global European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e o Weather Research Forecast (WRF).

Os modelos matemáticos meteorológicos são usadas para replicação ou predição da circulação atmosférica em períodos temporais curtos e longos (MM5, 2015). No entanto, quando o modelo de previsão numérica meteorológica tem resolução espacial mais acurada representam melhor os fluxos de ar urbano e a poluição do ar envolta. É por isso que, para a aplicação em estudos de qualidade do ar visa-se necessário campos meteorológicos acurados para fazer a correta modelagem do transporte e processos químicos envolvidos na atmosfera. Para este fim, na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) utiliza-se o modelo numérico de mesoescala WRF, desenhado originalmente para fazer predição climática numérica e não expressamente para estudos climáticos.

Para inicializar as modelagens com o WRF precisa-se de diversos dados de entrada, os quais são: dados geográficos (trabalhado no pacote *geogrid*) com o qual se define o domínio da modelagem e serve para interpolar os dados geográficos para cada escala de resolução, os dados meteorológicos (trabalhado no pacote *metgrid*) dos quais serão extraídos os campos meteorológicos de modelagem global que tem como formato disponíveis GRIB e GRIB2, finalmente estes serão juntados (trabalhado no pacote *ungrib*) e servirão de inicialização para rodar o WRF. Os parâmetros (geográficos e meteorológicos) inseridos dentro do WRF são normalmente usados os do United States Geological Survey (USGS) que são de domínio aberto que podem ser adquiridos desde o site do WRF com resolução espacial de até meio grau. Os dados de uso e cobertura da terra USGS com 24 categorias, utilizados no WRF estão baseados nos dados do satélite AVHRR (campanha abril 1992 até março 1993) usando a resolução aproximada de 1km (SCHICKER et al., 2011; SERTEL et al., 2019). Contudo, estes dados estão desatualizados, que poderia acarrear erros ou estimações incorretas nas

modelagens futuras que fazem uso destes dados sem passar antes por uma atualização.

No entanto, para o trabalho com relevo mais acurado encontra-se disponível no geoportal do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) dados de elevação digital de 90 metros de resolução que são produzidos originalmente pela NASA. Os parâmetros meteorológicos utilizam-se dados de reanálise fornecidos pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) com resolução espacial de 30 arc segundos ( $\sim 900$  m ou meio grau) de grade a cada seis horas (ARW, 2014).

Para avaliar o domínio geográfico (área) da modelagem leva-se em consideração a existência de paisagens, colinas, vales, etc. Os quais tendem a produzir ou concentrar o fluxo do vento, consequentemente a média da velocidade do vento é influenciado por estes fatores. O anterior dito pode ser causada também pelo aquecimento diferenciado nos lados dos vales, esta informação básica da distribuição espacial dos tipos de uso e cobertura da terra é fundamental nas diversas áreas de pesquisa (CARROLL et al., 2016), entre elas a circulação diurna. A propriedade física e biológica da superfície terrestre tem sido afetada, que é consequência da mudança de uso do solo, devido principalmente à urbanização e práticas agrícolas e de floresta. Assim, o problema de usar parâmetros como a cobertura de solo de datas passadas é o fato de terem variações no tempo (não são constantes), que podem ser produto da remoção de vegetação, incremento da área urbana e suburbana, mudanças na agricultura (tipo de plantio), perda de áreas glaciais, entre outros. Que alteram os efeitos do forçamento radiativo e tem impacto potencial no clima global e regional. O uso do solo, mudanças na cobertura do solo, clima natural ou antropogênico influencia os processos na atmosfera assim como na disponibilidade de umidade, fluxos superficiais, albedo e a circulação local. Modelos meteorológicos como o WRF usam as categorias de uso da terra para inserir parâmetros e valores iniciais na grade (albedo, rugosidade superficial, etc.), assim, parâmetros como orografia e textura do solo são usados os quais é sabido são não dependentes do uso do solo, entanto, alguns modelos podem utilizar conjuntos de dados de cobertura vegetativa por separado (SCHICKER et al., 2015).

Para a modelagem o modelo computacional requer que as condições iniciais sejam mais acuradas para fazer representações mais realistas da atmosfera. Os dados de condições iniciais e contorno utilizados pelo WRF, estão baseados em dados de reanálise obtidos do modelo NCEP-FNL com resolução horizontal aproximada de meio grau. É por isso que, precisa-se da inclusão de dados de observações superficiais que possam ajudar na previsão da modelagem. Isto é conhecido como assimilação de dados, o que faz ao modelo incluir

este valor de medição real junto com os dados do modelo NCEP-FNL na modelagem. O uso da assimilação de dados significa forçar os dados de entrada providenciando um valor inicial mais próxima da realidade para a modelagem. Contudo, tem-se o alto custo computacional da assimilação de dados reais (observação) para obter previsões precisas. Assim, muitos pesquisadores trabalharam no desenvolvimento de métodos computacionais mais econômicos, desenvolvendo diversos métodos, entre estes o *nudging*. Por este motivo, o método *nudging* foi apresentado pela primeira vez em 1974 por Kistler como um método empírico para assimilação de dados, adicionando um termo nas equações prognósticas desta que força a solução direcionando esta influência às observações, obtendo desta maneira menos equações a serem resolvidas pelo modelo (KALNAY, 2003).

Com o fim de realizar a simulação do comportamento temporal e espacial da Camada Limite Planetária (CLP), Santiago (2009) faz comparações das previsões do modelo com os dados das observações superficiais de várias estações meteorológicas, pertencentes à Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr) e radiossondagens. Focado especialmente em dois períodos distintos de avaliação do desempenho da modelagem, inverno e verão, onde o modelo WRF consegue melhor ajuste durante o período do verão. Em 2014 continuou-se o desenvolvimento do conhecimento do WRF. Por outro lado, com o objetivo de identificar e caracterizar a evolução diária da Camada Limite Atmosférica (CLA) na Região Metropolitana da Grande Vitória - Espírito Santo - Brasil e na Região de Dunkerque - Nord Pas-de-Calais - França Salvador (2014) avaliou a acurácia de parametrizações usadas no modelo meteorológico WRF. Neste estudo utilizaram-se três esquemas de parametrizações para a CLA, tendo como resultado para a Região de Dunkerque o melhor acurado o conjunto de parametrizações MYJ para a CLA com a parametrização Noah, para a RMGV as parametrizações YSU para a CLA e Noah para a camada limite superficial foram os de melhor acurácia nas previsões. Já em 2015, com o objeto de avaliar a formação e o transporte de Material Particulado na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). Santiago (2015) utilizou o The Models-3 Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ), para os quais foram modelados os campos meteorológicos tridimensionais utilizando o modelo meteorológico Weather Research and Forecasting (WRF) na versão 3.4.1. Entretanto. Continuando Loriato (2015), com o objetivo de estudar o transporte atmosférico de  $PM_{10}$  e  $SO_2$  em regiões costeiras urbanas usou o modelo WRF para fornecer dados meteorológicos de entrada para o CMAQ. Pedruzzi (2016) avalia a influência das condições de contorno diferentes nas simulações do modelo

Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), para o qual avaliou-se varias parametrizações meteorológicas do modelo WRF versão 3.6.1, encontrando que a melhor foi a composta por os esquemas WSM3 (microfísica), RRTM (radiação de onda longa), Dudhia (radiação de onda curta), revised MM5 Monin-Obukhov (camada superficial), Noah land-surface model (superfície terrestre), Bou-Lac (CLP) e Betts-Miller-Janjic (cumulus). Mostrando-se desta forma que estes trabalhos anteriores realizados no laboratório de qualidade do ar da UFES, não puderam realizar especificações dos dados geográficos, nem mesmo da assimilação de dados de observações superficiais para melhorar as simulações.

Exibindo a grande importância do refinamento dos dados de entrada para previsões com modelos meteorológicos. Neste sentido pesquisas diversas apontam a falta de acurácia da especificação e atualização da classificação do tipo de solo utilizado pelo WRF. Assim Salvador (2014) aponta que a informação de utilizada pelo WRF difere da realidade segundo a classificação realizada pelo IBGE. Então, requer-se a melhora da sensibilidade e desempenho do modelo WRF, podendo ser logrado melhorando tanto a resolução de grade como o direcionamento das simulações há as observações.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da especificação de dados de entrada referentes ao uso e cobertura da terra, juntamente com a assimilação de dados meteorológicos (observações diretas) para avaliar o desempenho do modelo WRF para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). Assim, os objetivos específicos do trabalho são:

- Dispor de novos e atualizados mapas de uso e cobertura da terra e relevo de alta resolução ( $\sim 100$  m) para modelagem na RMGV.
- Demonstrar os efeitos na modelagem meteorológica do WRF com o conjunto de dados de uso e cobertura da terra e topografia com resolução maior que 30 segundos.
- Avaliar o efeito da influência da assimilação de dados de superfície na acurácia das simulações meteorológicas do WRF para a RMGV.

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos. Após este material introdutório que tentam descrever brevemente os fatores que motivaram a realização desta pesquisa (Capítulo 1), o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, na qual estão descritos os problemas e os conceitos básicos para o entendimento do trabalho todo isto acompanhado de um breve

resumo dos trabalhos semelhantes realizados por diversos pesquisadores. O Capítulo 3 apresenta a metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e discussões. O Capítulo 5 descreve as conclusões e deixa algumas recomendações para os trabalhos futuros. Finalmente o Capítulo 6 que contém os anexos, apresenta as tabelas dos resultados obtidos.

## 2 REGIÃO DE ESTUDO

O objetivo desta seção é descrever de maneira sucinta, as principais características geográficas da Região Metropolitana da Grande Vitória, enfatizando os aspectos relacionados à ocupação do solo, relevo e dados meteorológicos.

### 2.1 Região Metropolitana da Grande Vitória

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) localizada na região sudeste do estado do Espírito Santo, situada na latitude sul  $20^{\circ}19'09''$  e longitude oeste de Greenwich  $40^{\circ}20'50''$  é constituída pelos municípios de Vitória, Vila Velha, Cariacica, Serra, Guarapari, Viana e Fundão. Sua área é de  $2331,03 \text{ Km}^2$  e possui uma população de aproximadamente 1,9 milhão habitantes, com densidade demográfica de  $808,27 \text{ hab/km}^2$  aproximadamente, o que representa cerca de 48% da população total do estado. (IBGE, 2015).

A RMGV é o principal polo econômico do estado que representa aproximadamente 63,13% do PIB total do estado, onde 65,55% deste proveniente do setor terciário, 34,03% do setor secundário e 0,42% do setor primário da economia. Nessa região encontram-se atividades de siderurgia, pelletização, mineração (pedreiras), cimenteiras, indústria alimentícia, usina de asfalto, etc.(IJSN, 2008).

O litoral vitorense visto desde satélite dá a aparência de ser recortado, já que possui 40% do território coberto por morros. O relevo da Grande Vitória é caracterizado por: cadeias montanhosas nas porções Noroeste sendo o Mestre Álvaro o pico mais alto (869m de altitude) e Oeste (Região Serrana), planícies (Aeroporto e manguezais) e planaltos (Planalto Serrano) na porção Norte, Planícies (Barra do Jucu) na porção Sul. Todas as porções são intercaladas por maciços rochosos de pequeno e médio porte (IEMA, 2013).

A região da Grande Vitória possui, clima tropical quente (temperatura média do mês mais frio  $18,8^{\circ}\text{C}$  e a mínima é  $2^{\circ}\text{C}$  mais quente que o resto de municípios) e úmido com subseção no mês de agosto, com temperaturas máximas normalmente em dezembro e janeiro (IEMA, 2013).

## 2.2 Uso do solo no Espírito Santo

A estrutura geomorfológica do território do Espírito Santo determina o tipo de uso da terra, os maciços rochosos que são destinados à preservação albergam a mata atlântica, áreas de pastagem, as principais culturas são banana e café, áreas urbanas principalmente. A classificação de uso e ocupação do solo da cidade de Vitória gerada para o 2010 por Rios et al. (2011), tem distribuição diversificada e pode-se ver na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de uso e ocupação de solo para Vitória, adaptado do (RIOS et al., 2011)

Classes	Área ( $km^2$ )	Área (%)
Área urbanizada	29,062	39,29
Área verde	23,201	31,37
Solo exposto	10,711	14,48
Água	0,661	0,89
Parque industrial	9,051	12,24
Minério	1,273	1,72

Segundo Lorena et al. (2013) o uso e cobertura da terra para o estado do Espírito Santo para o ano de 2010, na escala 1:100.000 se observam determinadas características dentro do território capixaba. Entre elas, o alto nível de fragmentação das áreas de vegetação natural do Estado que inclui florestas primária e secundária. Com relação à classe floresta plantada, podem ser observadas grandes áreas contínuas, especialmente nos municípios de Aracruz, São Mateus, Conceição da Barra e Linhares. A Tabela 2 mostra proporção da ocupação do solo para o estado de Espírito Santo.

## 2.3 Relevo topográfico Espírito Santo

A caracterização geomorfológica do Estado Capixaba, identificam-se três domínios morfo-estruturais, segundo (ANTONGIOVANNI; COELHO, 2005):

O relevo é formado por rochas cristalinas, sobretudo gnaisses e granitos, relevo de origem sedimentar

**Região Serrana**, constituída principalmente por morfologia de topos aguçados e ocasio-

Tabela 2: Uso e cobertura de solo, Espírito Santo - 2010 (LORENA et al., 2013).

Categoria	Área (%)	Municípios que abrange
Praia	0,06	Aracruz, Linhares, São Mateus, Conceição da Barra (norte) e Vila Velha, Guarapari e Presidente Kennedy (sul)
Restinga	1,29	
Silvicultura	10,56	Região Grande Vitória
Urbano	1,53	
Afloramento	2,62	
Água	1,20	
Alagado	0,83	
Cultura	18,70	Sudoeste, central Serrana, Irupi e Ibatiba (diferentes tipos de cultivo)
Floresta	23,48	Reserva Biológica de Sooretama, no restante do Estado as manchas de matas são extremamente fragmentadas
Pastagem	43,41	Em todos os municípios, exceto em Vitória

Tabela 3: Caracterização geomorfológica do Estado do Espírito Santo. Fonte: (ANTON-GIOVANNI; COELHO, 2005)

Domínio	Descrição
Região Serrana	Remanescentes de Cadeias Dobradas + Faixas de Dobramentos Remobilizados
Tabuleiros costeiros	Depósitos Sedimentares 1
Planície Costeira	Depósitos Sedimentares 2

nalmente convexizados, onde as maiores elevações encontram-se na Serra do Caparaó com o Pico da Bandeira que culmina com 2897 metros de altura, sendo isto totalmente anômalo em relação aos relevos próximos onde a variação da altimetria média está na faixa de 300 a 1000 metros.

**Tabuleiros Costeiros**, sedimentos de origem continental e pouco consolidados. Para o Estado de Espírito Santo estes estão limitados no oeste pelas Colinas e Maciços Costeiros ao leste, ao norte do estado são mais extensos atingindo altitudes maiores aos 100 metros, relevos dissecados de topos aplainados a convexizados com aprofundamento dos vales variando de 20 a 40 metros em média, sua altimetria média na faixa de 16 a 45 metros.

**Planície Costeira**, teve seu desenvolvimento diretamente relacionado na etapa quaternária da terra que culminou com o abaixamento do nível do mar, esta área é a mais plana e baixa das 3 unidades, representadas principalmente pela Planície Deltaica do rio Doce, formações de manguezais e pelas praias distribuídas pelo litoral capixaba (Vila Velha, Vitória, Linhares, Marataizes, São Mateus entre outras), com altimetria inferior aos 15 metros.



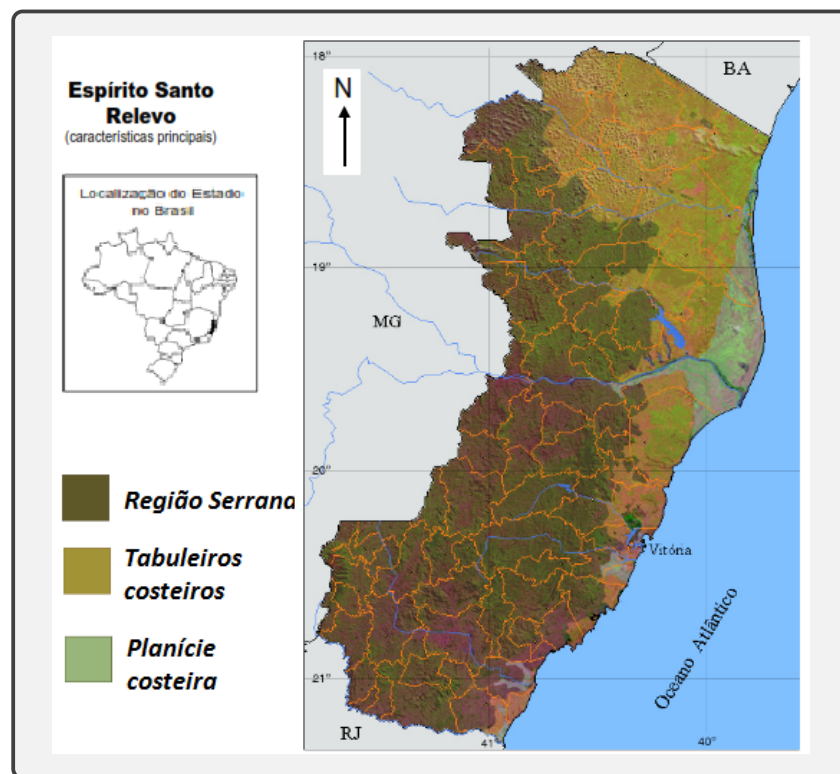


Figura 1: Relevo Espírito Santo, Fonte: (ANTONGIOVANNI; COELHO, 2005)

## 2.4 Monitoramento Meteorológico e da Qualidade do Ar

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), é uma região urbana altamente industrializada, encontra-se fontes antropogênicas de poluição atmosférica (minero-siderúrgica, parque automotor, portos, entre outras). Por esse motivo, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) instalou a Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr) com o objetivo de medir os principais poluentes atmosféricos. Embora, o número e distribuição das estações de monitoramento em operação não conseguem cobrir todo o território, as estações foram posicionadas em localizações consideradas estratégicas para do planejamento e gestão de políticas de controle (IEMA, 2013).

### 2.4.1 Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória

Os dados obtidos da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória (RAMQAr) que entrou em funcionamento no ano 2000, é de propriedade e res-

ponsabilidade do IEMA, mesmo assim, é importante mencionar que só os dados gerados a partir de 01 de janeiro de 2001 são considerados validos. A rede é composta por 8 estações de monitoramentos distribuídas nos municípios da seguinte forma: 2 estações na Serra (Laranjeiras e Carapina), Vitória possui 3 estações (Jardim Camburi, Enseada do Suá e Centro) vila Velha 2 estações (Ibes e Centro), Cariacica possui 1 estação (Ceasa). A RAMQAr está focada no monitoramento de parâmetros da poluição do ar, é por isso que só alguns dessas estações tem parâmetros meteorológicos nos reportes. A localização espacial das estações de monitoramento da RAMQAr encontra-se na Figura 2.

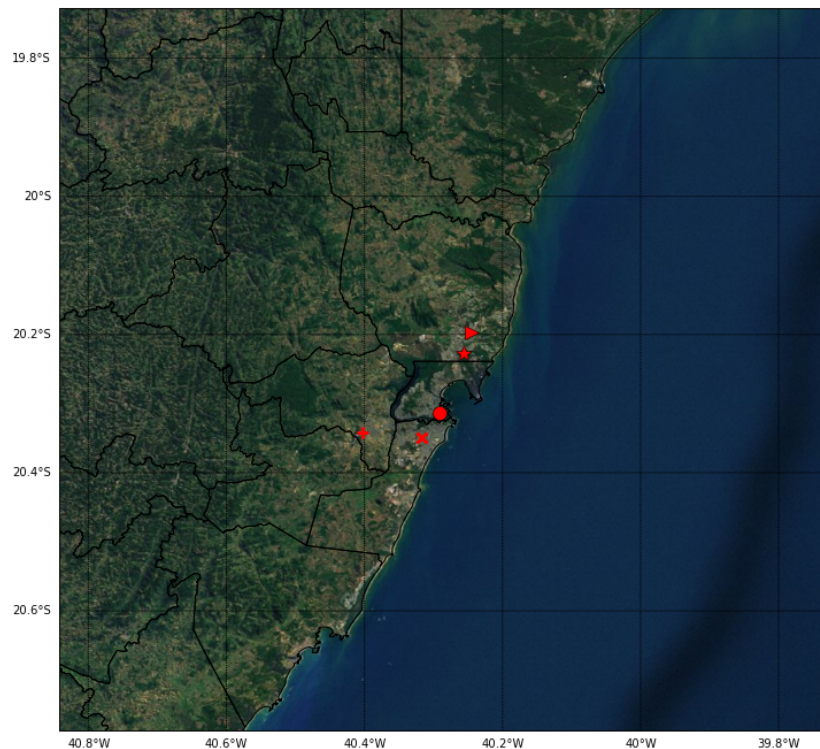


Figura 2: Localização espacial das estações da RAMQAr, que abrange o domínio menor (d02).

Na Figura 2, cabe mencionar que são representados só as estações que fazem coleta de dados meteorológicos. Onde a estação de Carapina é representada pela estrela, Enseada do Sua pelo círculo, Ibes pela 'x', Cariacica pelo '+' e finalmente o Aeroporto pelo triângulo para a direita. Contudo, na Tabela 4 é mostrado as estações junto com os parâmetros que são monitorados em cada um deles. Na coluna Meteorologia é mostrado as variáveis que são coletadas para cada estação.

Tabela 4: Poluentes e Parâmetros meteorológicos em cada estação da RAMQAr.

Estação	<i>PTS</i>	<i>PM</i> <sub>10</sub>	<i>SO</i> <sub>2</sub>	<i>CO</i>	<i>NO</i> <sub>x</sub>	<i>HC</i>	<i>O</i> <sub>3</sub>	Meteorologia
Estação Laranjeiras	X	X	X	X	X	–	X	–
Estação Carapina	X	X	–	–	–	–	–	<i>DV, VV, UR, PP, P, T, I</i>
Estação Jardim Camburi	X	X	X	–	X	–	–	–
Estação Enseada do Suá	X	X	X	X	X	X	X	<i>DV, VV</i>
Estação Vitória Centro	X	X	X	X	X	X	–	–
Estação Ibes	X	X	X	X	X	X	X	<i>DV, VV</i>
Estação Vila Velha	–	X	X	–	–	–	–	–
Estação Cariacica	X	X	X	X	X	–	X	<i>DV, VV, T</i>
Estação Aeroporto	–	–	–	–	–	–	–	<i>DV, VV, P, T</i>

Onde a **X** representa que esse parâmetro é monitorado, - o parâmetro não é monitorado, DV (direção do vento), VV (velocidade do vento), UR (umidade relativa), PP (precipitação), T (temperatura) e I (radiação solar). Sendo que as variáveis a serem analisadas serão DV, VV e T. Como a análise das modelagens são trabalhados mês por mês, as descrições de dados serão para cada mês.

#### 2.4.2 Vento predominante

Para os análises posteriores foram feitas as contagens da quantidade de dados disponíveis, mínimos e máximos registrados que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho. A Tabela 5 mostra na primeira linha a quantidade (%) de dados disponíveis mínima encontradas de todas as estações para a análise de comparação com as modelagens, a segunda linha mostra os máximos registrados de todas as estações. Já o mínimo para o ano inteiro foi registrado na estação Aeroporto (0,00 m/s), obviando a escrita desta na Tabela de resumo.

Tabela 5: Disponibilidade e máximas registradas nas estações da rede RAMQAr para o 2010

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
(%)	92,34 <sup>1</sup>	99,85 <sup>2</sup>	99,59 <sup>2</sup>	96,67 <sup>1</sup>	98,79 <sup>1</sup>	98,75 <sup>1</sup>	96,91 <sup>3</sup>	96,64 <sup>2</sup>	98,84 <sup>1</sup>	70,97 <sup>1</sup>	89,17 <sup>2</sup>	92,34 <sup>1</sup>
Máximo	14,4 <sup>5</sup>	14,4 <sup>5</sup>	12,4 <sup>5</sup>	14,4 <sup>5</sup>	12,4 <sup>5</sup>	12,4 <sup>5</sup>	9,3 <sup>5</sup>	12,4 <sup>5</sup>	15,4 <sup>5</sup>	13,4 <sup>5</sup>	13,4 <sup>5</sup>	17,5 <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Carapina, <sup>2</sup> Enseada do Sua, <sup>3</sup> Ibes, <sup>4</sup> Cariacica, <sup>5</sup> Aeroporto

Como pode-se ver na Tabela 5, a menor quantidade (expressado em %) de dados disponíveis é para o mês de outubro, sendo este o único com a menor quantidade de dados registrados para o ano todo. A velocidade máxima registrada sempre no Aeroporto que mostra o maior registro para dezembro.

Para descrever a meteorologia da RMGV, foram utilizados dados coletados nas estações da RAMQAr, como mostra-se no (IEMA, 2013) as direções do vento predominante são os

do primeiro quadrante (0 a 90°) com maior frequência e velocidades maiores nas estações de Cariacica e Aeroporto. As velocidades médias máximas registradas anualmente são nos meses de janeiro e fevereiro (maior de 8 m/s) e a mínima é em junho (até 0 m/s).

### 2.4.3 Direção do vento

Nesta não serão apresentados máximos e mínimos, só a disponibilidade de registros, como é mostrado na Figura 6 que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Porém temos que lembrar que Cariacica não tem registro para o ano todo.

Tabela 6: Disponibilidade de dados de direção do vento mínimo para o 2010

Indicador	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
(%)	92,34 <sup>1</sup>	99,85 <sup>2</sup>	99,73 <sup>1</sup>	96,67 <sup>1</sup>	98,79 <sup>1</sup>	98,75 <sup>1</sup>	96,91 <sup>3</sup>	96,64 <sup>2</sup>	98,47 <sup>1</sup>	61,83 <sup>1</sup>	89,17 <sup>2</sup>	97,85 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Carapina, <sup>2</sup> Enseada do Sua, <sup>3</sup> Ibes, <sup>4</sup> Cariacica, <sup>5</sup> Aeroporto

Onde a menor quantidade de dados registrados para este parâmetro é em outubro na estação de Cariacica.

### 2.4.4 Temperatura média

As estações de Enseada do Sua e Ibes não tem registros de temperatura, só as estações do Aeroporto, Carapina e Cariacica. Mostra-se na Tabela 7 o resumo da disponibilidade de dados, máximos e mínimos que serão utilizados na realização deste trabalho.

Tabela 7: Resumo dos registros de temperatura para o Ano 2010.

Indicador	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
(%)	92,34 <sup>1</sup>	*	99,73 <sup>1</sup>	96,67 <sup>1</sup>	98,79 <sup>1</sup>	98,75 <sup>1</sup>	98,52 <sup>1</sup>	98,38 <sup>1</sup>	98,47 <sup>1</sup>	70,97 <sup>1</sup>	97,92 <sup>1</sup>	97,85 <sup>1</sup>
Máximo	38,63 <sup>4</sup>	40,44 <sup>4</sup>	38,15 <sup>4</sup>	36,32 <sup>4</sup>	34,98 <sup>4</sup>	34,36 <sup>4</sup>	31,56 <sup>4</sup>	34,00 <sup>5</sup>	35,68 <sup>4</sup>	35,00 <sup>5</sup>	33,00 <sup>5</sup>	35,00 <sup>5</sup>
Mínimo	21,27 <sup>1</sup>	22,00 <sup>5</sup>	22,00 <sup>5</sup>	16,06 <sup>1</sup>	16,58 <sup>1</sup>	13,47 <sup>1</sup>	14,94 <sup>1</sup>	12,33 <sup>1</sup>	13,67 <sup>1</sup>	16,73 <sup>1</sup>	17,41 <sup>1</sup>	19,40 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Carapina, <sup>2</sup> Enseada do Sua, <sup>3</sup> Ibes, <sup>4</sup> Cariacica, <sup>5</sup> Aeroporto \* sem registro

Apontando que a estação de Cariacica não tem registro para o mês de novembro e o mês de menor disponibilidade de dados é em outubro.

Segundo IEMA (2013), a temperatura ao longo do ano não apresenta grandes variações, a média anual climatológica é 24,2°. À localização da RMGV (região tropical), são observadas diferenças de temperatura entre as estações de inverno e verão principalmente, podendo variar com a chegada de alguma frente fria vindo desde o sul.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em duas seções, onde a primeira faz o resumo sobre as categorias de uso e cobertura e tipo de solo além da topografia, a segunda parte aborda o estado da arte dos trabalhos com a análise das variáveis meteorológicas que focam principalmente no comportamento do vento e a temperatura.

#### 3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apesar das informações dos processos desenvolvidos na RMGV, tem-se o problema que os câmbios da cobertura superficial podem afetar substancialmente as condições meteorológicas em torno. Segundo Bhati e Mohan (2015) as 24 categorias de uso do solo USGS utilizados como padrão no modelo WRF para o mapeamento do domínio do modelo é inadequado em termos de representação de uso e ocupação do solo porque estão desatualizados. Assim, para entender os impactos do uso de dados geográficos de uso e ocupação do solo e textura do mesmo, além da assimilação de dados meteorológicos. São direcionados as seguintes perguntas, qual é o impacto na simulação dos parâmetros meteorológicos depois de fazer o acuramento geográfico? e o que acontece com os parâmetros meteorológicos depois de fazer a assimilação de dados?. Com a premissa de entender os impactos das modelagens serão vistos os tópicos de estudo i) categorias de uso de solo, ii) relevo e iii) assimilação de dados, e verificar se tem melhora substancial na simulação.

##### 3.1.1 Categorias de uso do solo

Solo, do latim *solum* é um termo que se refere à parte superior e mais intemperizada do perfil do solo (parcelas horizontais que o constituem desde sua origem até a superfície), levando em conta que adquire significados diferentes de acordo com a finalidade. Segundo o IBGE (2007) solo é o material solto e macio que cobre a superfície da terra, como uma casca sobre uma laranja. Ao contrário da casca que tem uma superfície relativamente uniforme, os solos variam muito na superfície da terra. Quer dizer, em relação à sua espessura (da superfície do solo em contato com a atmosfera até a rocha mãe), assim como

também em relação às suas características físicas, tais como cor, quantidade e organização das partículas do que são compostos (argila, silte e areia), fertilidade, porosidade, entre outras características e eventualmente é modificado ou mesmo construído pelo homem, servindo ou sendo capaz de servir para a sustentação (crescimento) de plantas ao ar livre (IBGE, 2007).

Assim, a definição de uso da terra geralmente está ligado às atividades realizadas pelo homem numa extensão de terra, considerando as operações desenvolvidas com a intenção de obter produtos e benefícios (BOSSARD et al., 2000), sendo essas as informações mais analisadas e acessíveis. Estas informações para o globo inteiro são provenientes principalmente de imagens de satélite. O uso, ocupação e cobertura da terra podem ser sintetizados através de mapas que fornecem informações do território. Onde pode-se indicar a distribuição espacial da ação antrópica, que pode ser identificada pelos padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotamente sensorizadas.

Então, para realizar este trabalho precisa-se de imagens de boa qualidade. Para o qual esses mapas com a qualidade desejada devemos ter em conta quatro princípios básicos a considerar segundo IBGE (2006):

- A escala de mapeamento; sob o ponto de vista matemático, é a proporção entre a representação gráfica de um objeto e a medida correspondente de sua dimensão real.
- A natureza da informação básica; conhecimento a priori da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra.
- A unidade de mapeamento e a definição da menor área a ser mapeada; representação da homogeneidade e diversidade de objetos que recobrem a superfície da terra.
- A nomenclatura por unidade de espaço.

#### **3.1.1.1 Sistema de classificação do uso do solo**

Para a classificação do Uso e cobertura da terra tem-se as 24 categorias propostas pela USGS para toda superfície terrestre como pode-se ver na Tabela 8. As quais são usadas comumente nas modelagens do WRF e estão referenciadas a partir de abril 1992 até março de 1993, usando uma resolução de aproximadamente de 1 km.

Tabela 8: UGS-24 categorias de uso do solo USGS. Fonte: (ARW, 2014)

<b>Categoria</b>	<b>Classe - USGS</b>
1	Urban and Built-up Land
2	Dryland Cropland and Pasture
3	Irrigated Cropland and Pasture
4	Mixed Dryland/Irrigated
5	Cropland/Grassland Mosaic
6	Cropland/Woodland Mosaic
7	Grassland
8	Shrubland
9	Mixed Shrubland/Grassland
10	Savanna
11	Deciduous Broadleaf Forest
12	Deciduous Needleleaf Forest
13	Evergreen Broadleaf
14	Evergreen Needleleaf
15	Mixed Forest
16	Water Bodies
17	Herbaceous Wetland
18	Wooden Wetland
19	Barren or Sparsely Vegetated
20	Herbaceous Tundra
21	Wooded Tundra
22	Mixed Tundra
23	Bare Ground Tundra
24	Snow or Ice

O sistema brasileiro tem nomenclaturas e classificações próprias que são diferentes às da USGS, como se ve ao fazer a comparação entre as Tabelas 8 e 9. As definições das nomenclaturas brasileiras estão definidas pelo IBGE (2006), as quais agrupam as seguintes classes:

**Áreas antrópicas não agrícolas**, associado a todos os tipos de uso da terra de natureza não agrícola; áreas urbanizadas, industriais, comerciais, redes de comunicação e áreas de extração mineral.

**Áreas antrópicas agrícolas**, terra usada para a produção agrícola de alimentos, fibras e outras commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas; podendo compreender também áreas alagadas, áreas heterogêneas, lavouras temporárias, lavouras permanentes, pastagens plantadas e silvicultura.

**Área de vegetação natural**, compreende um conjunto de estruturas florestal e campestre, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações

florestais espontâneas, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas.

**Águas**, incluem todas as classes de águas interior e costeira; entre elas compreende corpos de água naturalmente fechados, cursos de água, lagoas, estuários, baías e reservatórios artificiais.

Tabela 9: Sistema básico de classificação da cobertura e do uso do solo, adaptado do (IBGE, 2006)

Classe	Digito	Subclasse
1. Áreas antrópicas não agrícolas	1.1	Área urbanizada
	1.2	Área de mineração
2. Áreas antrópicas agrícolas	2.1	Culturas temporárias
	2.2	Cultura permanente
	2.3	Pastagens
	2.4	Silvicultura
	2.5	Uso não identificado
3. Áreas de vegetação natural	3.1	Área florestal
	3.2	Área campestre
4. Água	4.1	Águas continentais
	4.2	Águas costeiras
5. Outras áreas	5.1	Áreas descobertas

### 3.1.2 Granulometria e textura

Para a classificação da granulometria e textura do solo tem-se as 16 categorias propostas pela USGS para toda superfície terrestre visto na Tabela 10. As quais são usados comumente nas modelagens do WRF e estão referenciadas a partir de abril 1992 até março de 1993, usando uma resolução de aproximadamente de 1 km.

Como as categorias utilizadas pelo IBGE são um tanto diferentes ao USGS como se ve nas Tabelas 10 e 11. Toma-se em conta as descrições seguintes:

Os termos granulometria ou composição granulométrica são empregados quando se faz referência ao conjunto de todas as frações ou partículas do solo do solo, incluindo desde as mais finas de natureza coloidal (argilas), até as mais grosseiras (calhaus e cascalhos) (IBGE, 2007).

O termo textura, por sua vez, é empregado especificamente para a composição granulométrica da terra fina do solo (fração menos que 2mm de diâmetro). Expressa a participação em  $g.km^{-1}$  das suas várias partículas constituintes, separadas por tamanho. Pelo fato



Tabela 10: 16 categorias do solo USGS. Fonte: (ARW, 2014)

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
1	Sand
2	Loamy Sand
3	Sandy Loam
4	Silt Loam
5	Silt
6	Loam
7	Sandy Clay Loam
8	Silty Clay Loam
9	Clay Loam
10	Sandy Clay
11	Silty Clay
12	Clay
13	Organic Material
14	Water
15	Bedrock
16	Other (land-ice)

das frações ocorrem no solo, sempre em combinações as mais diversas possíveis, tem-se o agrupamento em classes texturais, conforme diagrama mostrado na 3, (IBGE, 2007).

### 3.1.2.1 Granulometria e textura

Termo empregado quando se faz referência ao conjunto de todas as frações ou partículas do solo, incluindo desde as mais finas de natureza coloidal (argilas), até as mais grosseiras (calhaus ou cascalhos). Este termo refere-se à proporção específica das frações granulométricas que compõem a massa do solo (IBGE, 2007).

- Pelo fato das várias frações ocorrerem no solo, sempre em combinações as mais diversas possíveis, necessário de faz o seu agrupamento em classes texturais. De acordo com os conteúdos de areia, silte e argila, que se ve na Figura 3.
- Grupamentos de classes de textura como se ve na Tabela 11, constitui características distintivas de unidades taxonômicas com respeito à composição granulométrica e distingue os vários solos considerando as classes texturais primárias de textura, agrupadas conforme os seguintes critérios;

Tabela 11: Classes texturais primarias. Fonte: (IBGE, 2007)

Critério	Intervalo
Arenosa	Areia e areia-franca
Argilosa	de 350 a 600 $g.kg^{-1}$ de argila
Média	menos de 350 $g.kg^{-1}$ de argila e mais de 150 $g.kg^{-1}$ de areia, excluídas areia e areia-franca
Muito argilosa	mais de 600 $g.kg^{-1}$ de argila
Siltosa	silte maior que 650 $g.kg^{-1}$ , areia menor que $g.kg^{-1}$ e argila menor que 350 $g.kg^{-1}$

### 3.1.2.2 Grupamento de classes e texturas

Para a distinção textural considerando a prevalência do horizonte B ou C, não é pertinente a especificação do grupamento textural (IBGE, 2007) como se ve na Figura 3,

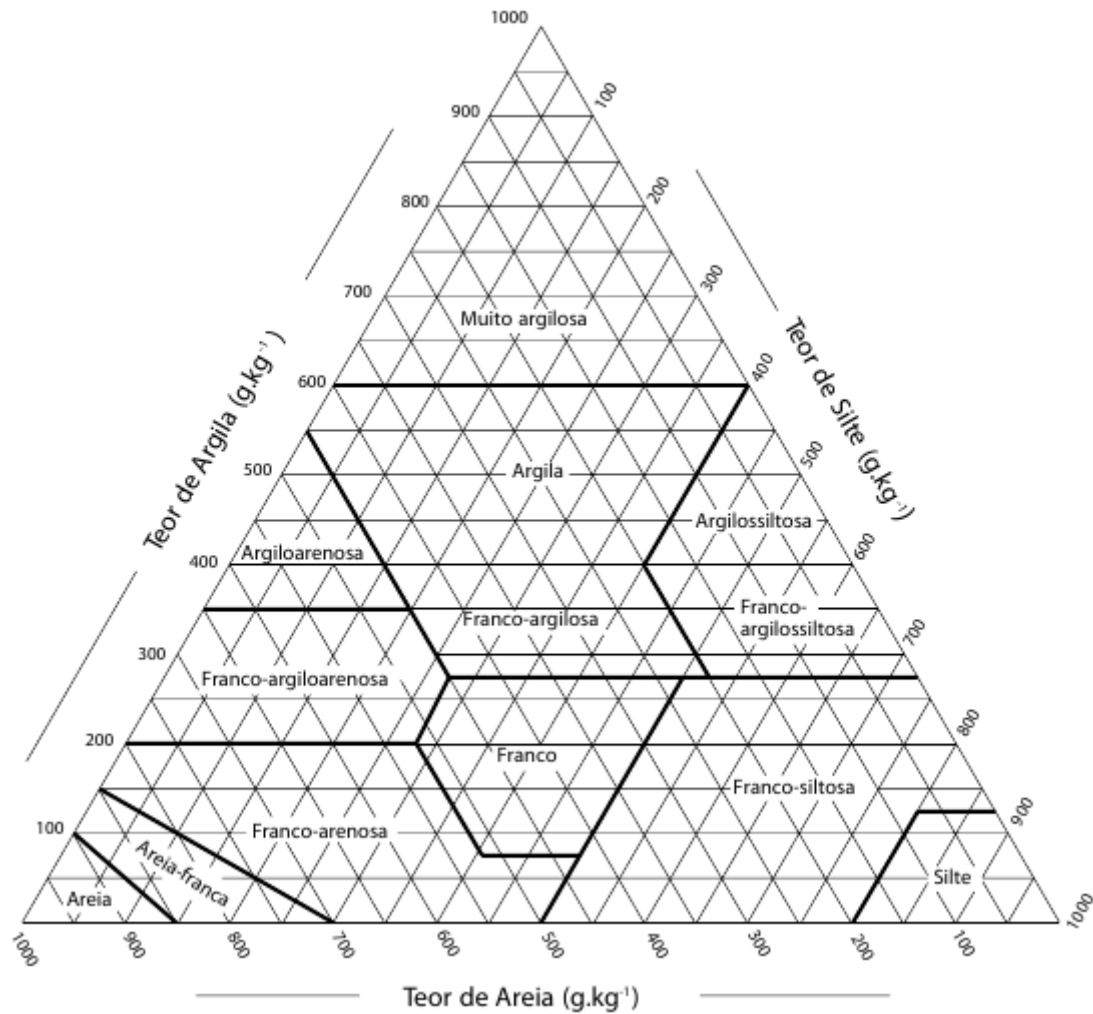


Figura 3: Triângulo textural, classes texturais da fração terra fina. Fonte: (IBGE, 2007)

como consequência se adota a agrupação mais grosseira. Assim, segundo a IBGE (2007), **Grupamentos de classes de textura**, que constitui característica distintiva de unidades taxonômicas com respeito à composição granulométrica e distingue os vários solos, consideram-se as classes texturais primárias de textura agrupadas conforme se ve na Figura 4:

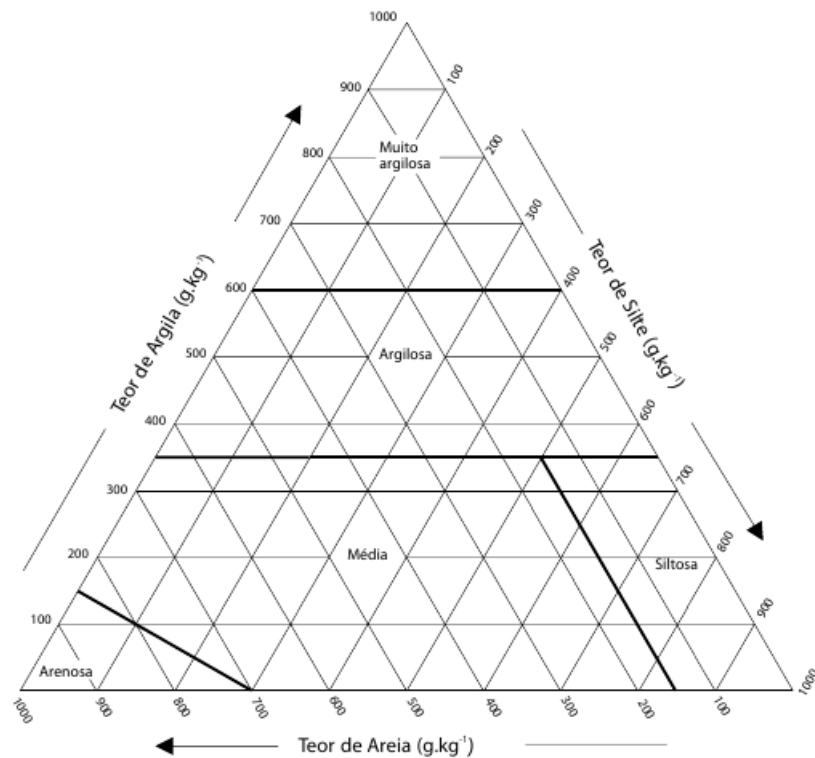


Figura 4: Guia para grupamento de classes de textura. Fonte: (IBGE, 2007)

### 3.1.3 Topografia

Refere-se à descrição ou delineação exata e pormenorizada de um terreno, de uma região, com todos os seus acidentes geográficos, definindo a sua situação e localização. O termo topografia usa-se só para áreas relativamente pequenas, sendo usado o termo geodesia quando se fala de áreas maiores.

#### 3.1.3.1 Relevo topográfico do Brasil

O território brasileiro possui uma grande diversidade de formas e estruturas de relevo. A classificação do relevo brasileiro segundo Jurandyr Ross, elaborada com base em imagens de radar, propôs a criação de uma terceira macro-unidade além dos planaltos e planícies que

já eram conhecidos, sob o nome de depressões. Este finalmente dividiu o relevo brasileiro em vinte e oito unidades. Assim, as definições destas três classificações principais são:

- Planaltos: superfícies acima de 300 metros de altitude que sofrem desgaste erosivo. Contém formas de relevo irregulares como morros, serras e chapadas.
- Planícies: é uma superfície plana, com altitude inferior a 100 metros, formada pelo acúmulo de sedimentos de origem marinha, fluvial e lacustre.
- Depressões: superfícies entre 100 e 500 metros de altitude sendo mais planas que os planaltos (é uma superfície com suave inclinação) e mais rebaixadas que as áreas de entorno, além de sofrer desgaste erosivo (formada por prolongados processos de erosão) e apresentar elevações residuais como inselbergs e planaltos residuais.

Com base nestas informações cria-se o modelo de elevação digital (DEM), que tem a estrutura numérica de dados para representar a distribuição espacial de uma variável quantitativa e contínua (topografia) para uma região específica, este é derivado dos mapas hipsográficos (linhas de contorno) ou usando métodos fotogramétricos nos mapas de topografia quadrangular (refere-se à folha topográfica).

#### **3.1.4 Assimilação de Dados**

A assimilação de dados medidos por estações meteorológicas dentro do domínio computacional e durante o período de simulação pode melhorar significativamente os resultados das previsões. Pois não são usadas apenas dados iniciais e/ou de condição de contorno, mas também dados medidos no interior do domínio computacional. Uns dos principais problemas na modelagem atmosférica é esta determinação das condições iniciais, que são de extrema importância para a evolução da simulação numérica para obter a previsão o mais próximo possível da realidade (KALNAY, 2003). Assim, pode-se fazer uso da informação disponível para melhorar o ponto de partida das modelações (condições iniciais) mediante a assimilação de informação meteorológica disponível em conjunto com condições observadas para incrementar a acurácia da previsão (LEIDNER et al., 2001). Isso é chamado de "assimilação de dados", a onde são agregadas funções de forçamento nas equações que governam o modelo para empurrar gradualmente as previsões às observações.

Segundo a American Meteorological Society (AMS, 2012), assimilação de dados é definido como: "A combinação de diversos dados possíveis, mostradas em intervalos, tempos e

localizações diferentes, dentro de uma descrição consistente e unificada de um sistema físico, assim como o estado da atmosfera ".

Assim, desde cedo muitos estudos diferentes de assimilação de dados foram usados para o modelamento atmosférico. Passando por o primeiro análise objetivo desenvolvido por Panofsky em 1949 que, é baseado em interpolação polinomial de duas dimensões. A partir disto muitas técnicas foram desenvolvidas para a implementação da assimilação de dados. Parte das varias técnicas de assimilação de dados compreende a; interpolação ótima (OI), assimilação variacional de três e quatro dimensões (3DVAR e 4DVAR respectivamente), filtro de Kalman e o *nudging* (relaxamento Newtoniano) (KALNAY, 2003).

A interpolação ótima (OI), conhecida como interpolação estatística. É um método intermitente que combina dados observacionais com as primeiras observações disponíveis para os pontos de grade em duas ou três dimensões. Essas variáveis são ordenadas para cada ponto de grade e variável, usando para isto os erros caraterísticos dos dados superficiais de entrada e das observações (KALNAY, 2003; LORENC et al., 2000), pode ser usado para determinar as condições iniciais para rodar um modelo meteorológico.

Assimilação variacional de três dimensões (3DVAR), é um outro método intermitente que trata a informação uma única vez, envolve a função de custo que é proporcional ao quadrado da distancia entre as análises e os antecedentes e a observação, assim a função de custo é minimizado para obter a análise (KALNAY, 2003). Este método foi usado em modelos como o ECMWF (COURTIER et al., 1998) e foi implementado no modelo MM5 (BARKER et al., 2004). Os modelos que usam informação mais de uma vez são conhecidos como assimilação de dados de quatro dimensões ou *four-dimensional data assimilation* (FDDA). 4DVAR é uma extensão do 3DVAR que ao invés de usar unicamente a informação uma vez só, este modelo busca uma condição inicial de modo que a previsão se adapte melhor nas observações dentro do intervalo de assimilação (KALNAY, 2003).

Nudging ou relaxamento Newtoniano, é uma forma continua do FDDA que é aplicado gradualmente em passos de tempo sobre o modelo, resultando na diminuição de ruído computacional a partir da assimilação de dados introduzidos. Então o nudging é a forma continua de assimilação de dados que agrega um termo não físico (artificial) nas equações de tendencia do modelo para cada passo de tempo e assim assimilar observações gradualmente. Este termo é baseado na inovação, que é a diferença entre o valor observado e o valor modelado na localização da observação (valor desde a análise de grade e o valor modelado na localização da grade) (STAUFFER; SEAMAN, 1994).

A seguinte equação de tendencia simplificada, que representa a influencia nudging para uma variável aleatória  $\theta$  é mostrada na equação 1:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F + G(\theta_{obs} - \theta_{model}) \quad (1)$$

Onde  $\theta$  é a variável aleatória,  $t$  é o tempo,  $F$  é o termo de tendencia física,  $G$  é o coeficiente de peso do *nudging*,  $\theta_{obs}$  é a variável observada e  $\theta_{model}$  é a variável de predição do modelo. O nudging sendo uma técnica continua cria menos choque para cambiar a simulação num passo de tempo, e também permite ao modelo ajustar de maneira mais realista às trocas introduzidos pela assimilação de dados, adicionalmente é computacionalmente barato e conceptualmente simples (STAUFFER; SEAMAN, 1990), em geral reduz os erros de previsão nos cálculos atmosféricos e da dispersão (FAST, 1995).

## 3.2 Estado do Arte

Esta seção tem a descrição dos principais e mais atuais trabalhos realizados com o WRF para cada tópico desenvolvido. Agrupando a informação encontrada para relevo topográfico, uso e ocupação da terra e por separado a assimilação de dados.

### 3.2.1 Relevo topográfico e Uso e cobertura da terra

Foi analisado por Correa et al. (2010) um caso de formação de núcleo convectivo durante a manhã na região centro-oeste de Santa Catarina, partindo da premissa que a topografia pode ser um fator importante na produção do núcleo convectivo observados em observações feitas desde radar, para o qual se usaram simulações com o modelo regional MM5 com espaçamento horizontal de grade de 12 km em níveis baixos da troposfera com presença de topografia realística, mostra que o relevo cria uma barreira ao fluxo do nordeste em baixos níveis proveniente do Atlântico sul, levando os escoamento em direção sul.

A topografia influência na representação da complexidade dos fluxos meios do vento como uma interação dos efeitos da quantidade térmica nos modelos, simulações de grande escala com alta resolução espacial captura melhor os detalhes da orografia. Na Comunidade Foral de Navarra localizada ao norte da península Ibérica Jiménez et al. (2010) avaliam a topografia com mapas de alta resolução simulando a regionalização do vento superficial

com o WRF considerando 35 estações com dados de alta qualidade que abrange 13 anos (1 de janeiro do 1992 até 30 de setembro do 2002) e 2 quilômetros de resolução horizontal, mostrando que apesar da relativa alta resolução as comparações estão sujeitas aos efeitos dos erros não representativos que não são capturados pelo modelo, influenciando na correlação dos valores quando comparados com pontos distantes. A razão deste comportamento pode estar relacionado à discretização da orografia e/ou propriedades físicas superficiais do terreno, nas comparações estatísticas tem melhora nas estações de Ebro Valley e North-to-South, onde as correlações se incrementaram de 0,2 a 0,85 e de 0,4 a 0,8 respectivamente, que é causado pela inclusão da orografia mais realista que substancialmente impacta na acurácia da modelagem.

De MEIJ e Vinuesa (2014) avalia o impacto dos dados de alta resolução topográfica do SRTM e a cobertura do solo com o CORINE na simulação de variáveis meteorológicas (velocidade do vento na altitude de 10m, temperatura a 2m e precipitação) no WRF. Fazendo a comparação com os resultados obtidos da simulação padrão do USGS-WRF com observações da rede de monitoramento ARPA, localizado ao norte da Itália. Para o período de inverno a simulação do WRF com STRM e CORINE calculou altas temperaturas sobre o domínio do modelo (entre  $\sim 0,2$  e  $\sim 1,0^{\circ}\text{C}$  e acima de  $\sim 1,2^{\circ}\text{C}$  para Milan). Estas diferenças encontradas estão relacionadas à alta fração da área urbana e edifícios, cujos factores de correlação ( $R^2$ ) para inverno e verão são altos. Finalmente as simulações com STRM e CORINE têm uma probabilidade de detecção de eventos de precipitação acima de 1%.

De MEIJ et al. (2015) pesquisou o impacto do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) como dados de topografia de 90 m x 90 m, comparado com uma resolução de cobertura do solo de 100 m x 100 m em 2006 para a simulação dos gases e material particulado (MP10) utilizando WRF-Chem. As diferenças são encontradas na distribuição geográfica, das classes de cobertura do solo entre a cobertura da Coordination of Information on the Environment (CORINE) e U.S. Geological Survey (USGS) a 30 arc segundos. Estas simulações deram como resultado que, a mudança de dados de cobertura do solo favorecem a previsão da quantidade de precipitação sobre uma grande parte dos Alpes e os padrões das diferenças entre os dois conjuntos de dados. Discute que a concentração simulada pelo WRF-Chem depois de usar os dados CORINE superestima as previsões das concentrações às observadas de MP10 num fator de  $\sim 4$ . Já para os gases as concentrações médias mensais simuladas na previsão são similares para as duas simulações (CORINE e USGS).

Schicker et al. (2015) trabalhou em simulações com modelos de pesquisa e previsão do clima para estudar a influencia dos conjuntos de dados de uso de solo diferentes nas condições meteorológicas. Ele utilizou três conjuntos de dados, USGS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), e os dados de reclassificação baseado no CORINE CLC06. Quatro simulações foram realizadas desde 8 de julho até 25 de julho do 2007 com uma resolução de 0,8 km. O resultado obtido foi uma sobrestimação do ciclo diurno nas estações de monitoração (Vienna e Inn Valley); onde para ambas regiões a simulação feita pelo CORINE tem uma melhora da temperatura média superficial de 0,6 K (Vienna) e 0,8 K (Inn Valley), seguido das simulações feitas pelo MODIS onde os resultado para temperatura superficial média é de 0,5 K (Vienna) e 0,2 K (Inn Valley); comparado com dados de observação superficial, radiossondagens, e dados satelitais. Onde encontrou que os dados originais CLC06 de reclassificação para a classe USGS para uso em WRF foi significativamente mais realista que os dados de USGS e MODIS. Em termos de temperatura e parâmetros meteorológicos durante processo sinóptico foram reproduzidos melhor com o CLC06 e o MODIS.

O trabalho de Santos-Alamillos et al. (2015) avalia a influência da representação de uso do solo na exatidão da precisão na relatividade das estimações da direção e velocidade do vento desde o modelo WRF, para este fim foi usado um conjunto de dados de uso de solo do CORINE como dados geográficos estáticos. As simulações foram realizadas em localizações ao sul da Espanha, este é caracterizada por ter topografia e composição de uso do solo variável. Os resultados mostraram que a seleção da base de dados de uso de solo tem uma maior influencia no viés estimado para o vento, os efeitos na distribuição da direção do vento mostram que o desvio padrão é muito fraco. Já em regiões de alta variabilidade nas categorias de uso de solo, os resultados na velocidade do vento poderiam dar erros nas estimações.

### **3.2.2 Assimilação de dados de quatro dimensões (nudging-observational)**

No trabalho realizado por Bowden et al. (2012) avalia técnicas *nudging* interiores, usando o modelo de previsão (WRF) para modelagem regional de clima ao longo do Conterminous Estados Unidos (CONUS), utilizando uma configuração de aninhamento de 2 níveis. Os



dados são de meso escala a 36 km x 36 km para o *nudging* nos limites de contorno. Em cada simulação o *nudging* foi restringido às camadas acima da camada limite atmosférica CLA. Sete simulações anuais foram realizados e avaliadas para 1988, comparando temperatura a 2 m, precipitação, altura geopotencial a 500 hPa e vento meridional a 850 hPa à 32 km North American Regional Reanalysis (NARR). Usando *nudging* interior reduz os vies médios para esses campos em todo o território continental dos EUA, em comparação com a simulação sem *nudging* interior. As previsões de temperatura a 2 m e campos no alto comportamento é semelhante quando qualquer análise ou *nudging* espectral é usado. Para a precipitação, no entanto, a análise *nudging* gera totais de precipitação mensais e intensidade e frequência de precipitação que estão mais perto de campos observados do que *nudging* espectral. A variabilidade espacial no modelo WRF é reduzido usando qualquer forma de *nudging* interior. Os resultados suportam o uso do *nudging* interior em ambos os domínios de aninhamento para reduzir o erro quando o ninho interior não é dominado pelo contorno.

Pohl e Crétat (2013) realizaram simulações utilizando grades com resolução horizontal 70 km na região Pool Warm. Este estudo quantificou como as técnicas (*nudging*) influenciam dentro de cada grade, os quais podem modificar a simulação da espessura da convecção da atmosfera. A sensibilidade a uma grande variação de opções de assimilação de dados (*nudging*) e os modelos físicos foram direcionados. Assim, estas simulações foram realizadas durante 7 meses na qual tiveram condições atmosféricas neutral e variabilidade sazonal forte. Mostrando para o primeiro teste, que o modelo responde diferente a assimilação de dados desde uma parametrização a outra. Respeito à resposta da temperatura, o *nudging* é a via mais eficiente para reduzir o vies quando a assimilação de dados de vento incrementa mais a covariância com as observações diárias. Então, a variabilidade interna do modelo é reduzida drasticamente e depende do peso do *nudging* para a assimilação e as variáveis assimiladas.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo em seis seções principais. A seção 4.1 apresenta uma breve descrição da modelagem meteorológica numérica. A Seção 4.2 apresenta a descrição do processo de tratamento de dados passando pela preparação dos dados seguido da edição dos arquivos para o processamento dos dados geográficos. A Seção 4.3 apresenta a fundamentação teórica da análise objetiva e a aplicação do nudging dentro do WRF. A Seção 4.4 descreve a configuração dos experimentos numéricos desenvolvidos para avaliar o impacto das alterações dos dados geográficos e assimilação de dados. A seção 4.5 apresenta os indicadores estatísticos empregados para analisar o desempenho do modelo meteorológico com as alterações dos dados geográficos e assimilação de dados das estações de superfície.

### 4.1 Modelagem meteorológica numérica: O modelo WRF

O Weather Research and Forecasting (WRF) é um projeto desenvolvido mediante um esforço colaborativo da Mesoscale and Microscale Meteorology (MMM), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Forecast System Laboratory (FSL), Department of Defense Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory (NRL), Center for Analysis and Prediction Storms (CAPS) da universidade de Oklahoma e a Federal Aviation Administration (FAA). Foi desenvolvido para ser flexível, com código portátil eficiente em ambientes de computação paralela. Pode ser usado em aplicações de diferentes escalas espaciais, desde alguns metros até milhares de quilômetros. Estas aplicações incluem previsões numéricas do tempo operacionais e voltadas para a pesquisa, pesquisas de parametrizações físicas e assimilação de dados, modelos dirigidos de qualidade do ar, acoplamento oceano-atmosfera e simulações idealizadas (ondas baroclínicas, convecção, etc) (ARW, 2014).

#### 4.1.1 Equações Governantes

Os cálculos executados pelo WRF a fim de simular as condições da atmosfera são baseados num conjunto de equações que controlam o comportamento da atmosfera. Este sistema

de equações diferenciais não pode ser resolvido analiticamente, para isso precisa-se fazer aproximações. As equações são definidas na forma diferencial como:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot V_u) - \partial_x(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_x) = F_U \quad (2)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot V_v) - \partial_y(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_y) = F_V \quad (3)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot V_w) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (4)$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot V_\theta) = F_\Theta \quad (5)$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot V) = 0 \quad (6)$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1}[V \cdot \nabla \phi] - gW = 0 \quad (7)$$

e relação diagnostica para a inversa da densidade

$$\partial_\eta \phi = -\alpha \mu \quad (8)$$

e a equação do estado

$$p = p_\circ (R_d \theta / p_\circ \alpha)^\gamma \quad (9)$$

Onde  $\theta$  é a temperatura potencial,  $\phi = gz$  é o geopotencial,  $p$  é a pressão,  $\alpha = 1/\rho$  é o inverso da densidade,  $\gamma = c_p/c_v$ ,  $R_d$  é a constante do gás para ar seco,  $p_\circ$  é a pressão de referência (tipicamente  $10^5$  Pascal),  $\mu$  é a massa por unidade de área,  $V = \mu\nu = (U, V, W)$ ,  $\nu = (u, v, w)$  representa a covariância das velocidades na direção horizontal e vertical,  $\Omega = \mu\dot{\eta}$  e  $\Theta = \mu\theta$ .  $F_U$ ,  $F_V$ ,  $F_W$  e  $F_\Theta$  representam os termos forçantes devido a física do modelo, mistura turbulenta, projeções esféricas e a rotação da terra.

As equações 2 à 4 representam a conservação da quantidade de movimento, 5 a conservação de energia termodinâmica, 6 a conservação da massa, 7 a equação geopotencial e 9 a

equação de estado termodinâmico. Estas equações são apenas aplicáveis para situações idealizadas. O sistema realmente utilizado no WRF possui termos que levam em conta o efeito da força de Coriolis, umidade do ar e projeção cartográfica que está sendo utilizada. Estas equações diferenciais parciais tem incluso para o cálculo a gradiente de pressão horizontal e vertical.

#### 4.1.2 Sistema de Coordenadas

##### 4.1.2.1 Coordenadas Horizontais

O sistema de coordenadas horizontais utilizada pelo WRF é baseado nos sistemas de projeção da terra. A projeção do domínio simulado é definida tendo em conta tamanho e a localização, para todas as grades na modelagem. Existem só 4 sistemas de projeção de mapas no WRF mostrado na Tabela 12, estes podem ser definidos pelo usuário (ARW, 2014). Para maior detalhe consultar o manual do usuário do WRF Capítulo 3.

Tabela 12: Sistemas de projeção disponíveis no WRF. Fonte (ARW, 2014)

Projeção/ nome para o name-list	Parâmetros da projeção
Labert Conformal / 'lambert'	truelat1 truelat2 (optional) stand_lon
Mercator / 'mercator'	truelat1
Polar stereographic / 'polar'	truelat1 stand_lon
Regular latitude-longitude, or cylindrical equidistant / 'lat-lon'	pole_lat pole_lon stand_lon

Onde, *truelat* é a latitude na qual a superfície intersecta o sistema de projeção (tangente à superfície da Terra) e *pole\_lat*, *pole\_lon* e *stand\_lon* são as projeções cilíndricas equidistantes.

##### 4.1.2.2 Coordenadas Verticais

O sistema de coordenadas verticais utilizada pelo WRF é formulado usando um seguimento superficial da pressão hidrostática denotado por  $\eta$ . Cabe mencionar que o sistema  $\eta$  não utiliza o nível médio do mar como base (usa o nível médio do mar-terra), para isso usa uma modificação do sistema  $\sigma$  já que este usa o nível do solo como base. As equações do

WRF são formuladas empregando a coordenada vertical  $\eta$ , representada na Figura 5

$$\eta = (p_h - p_{ht})/p \quad (10)$$

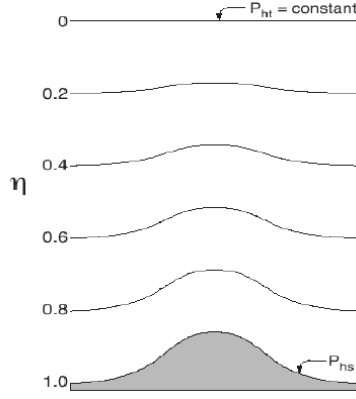


Figura 5: Sistema  $\eta$  de coordenadas verticais. Fonte: (ARW, 2014)

Onde  $p = p_{hs} - p_{ht}$ ,  $p_h$  é a constante hidrostática da pressão.  $p_{ht}$  é o valor topo e  $p_{hs}$  o valor na superfície ( $\eta$  varia desde 1 na superfície até 0 na camada superior do domínio do modelo).

As variáveis não representam um valor para um ponto específico na grade e, se uma média para a parcela das superfícies.

#### 4.1.3 Aninhamento de Grades

A vantagem de utilizar grades aninhadas é ter dados de uma área específica com alta resolução espacial, sem a necessidade de rodar toda a grade com  $\Delta x$  pequeno. Quando se deseja analisar mais detalhadamente uma região de interesse dentro de uma grade grande, para isso é possível fazer um aninhamento de grades. A Figura 6 mostra exemplos de aninhamento de grade possíveis no WRF, mas não é permitido fazer aninhamentos que se intersectam.

Em ambos casos apresentados na Figura 6, as condições de contorno (CC) da grade menor (FG, *fine grid*) são interpoladas a partir da previsão fornecida desde a grade maior (CG, *coarse grid*), assim como, na Figura 6a se mostra:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$  e na Figura 6b se mostra:  $1 \rightarrow 2$  e  $1 \rightarrow 3$ . Os dados calculados nas grades podem fluir em apenas um sentido (1 - *way*) ou em ambos (2 - *way*): no modo unidirecional, os valores CG são simplesmente

utilizados como condições de contorno na FG, já no modo bidirecional, ocorre o mesmo processo, entretanto, os pontos da CG que estão dentro da FG, tem seus valores para aqueles obtidos pela FG.

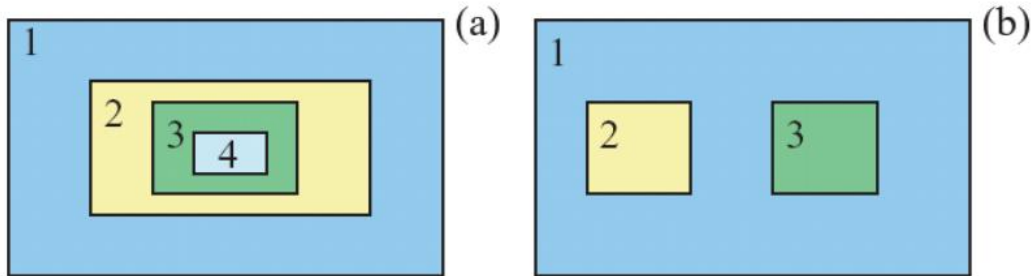


Figura 6: Exemplo de aninhamento de grade permitido no WRF. Fonte: (ARW, 2014)

A Figura 7 mostra a disposição das variáveis em grades aninhadas. A alternância dessas variáveis na grade define como a FG é colocada sobre a CG e influencia os resultados quando o modo bidirecional está ativo. Se a razão entre o  $\Delta x_{CG}$  e  $\Delta x_{FG}$  for ímpar (lado esquerdo da figura), os pontos que contêm determinada variável na CG e FG coincidem. Caso contrário, o ponto da CG fica equidistante dos pontos da FG, e simplesmente recebe o valor do canto inferior esquerdo.

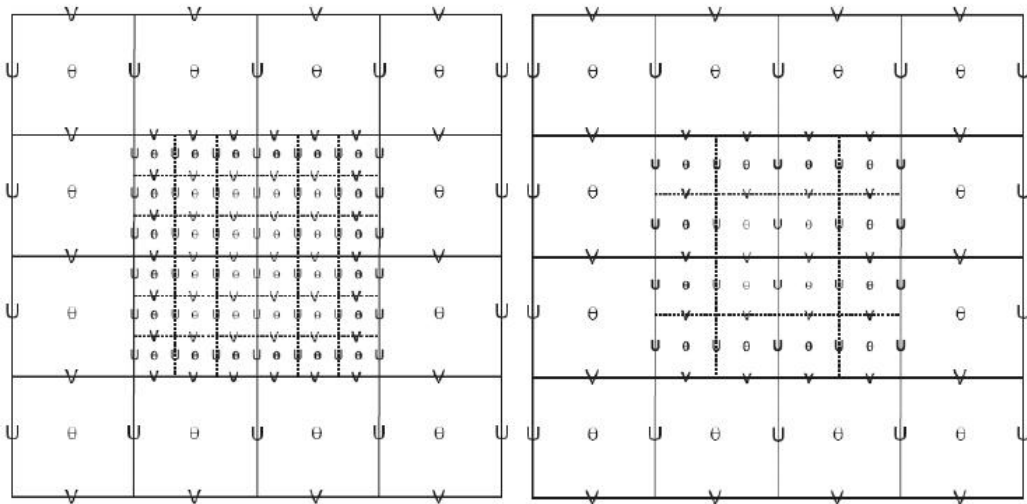


Figura 7: Grade aninhada do tipo C 1:3 e 1:2 respectivamente. Fonte:(ARW, 2014)

## 4.2 Tratamento de dados Geográficos

O processo de manipulação de informações espaciais para extrair novas informações significativas foram feitos a partir dos dados originais disponíveis para o Estado de Espírito Santo. Normalmente, a análise espacial é executada com um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Um SIG fornece ferramentas de análise espacial para calcular as estatísticas de recursos e realização de atividades e geoprocessamento como interpolação de dados. Nesse quesito trabalhou-se com o arcGIS para cada etapa do processo de obtenção de mapas mais acurados.

As análises de imagens de satélite fornecem dados de excelente qualidade, com informações suficientes para gerar mapas. Desta forma trabalhou-se especificamente para uma área pequena de 120km x 120km que abrange toda a RMGV, sendo este o domínio de interesse. Para fazer o tratamento de dados com o objetivo de implementar a base de dados geográficos novos para a RMGV, foram seguidos vários passos as quais foram agrupados em o preprocessamento de imagens, edição de arquivos INDEX e edição de arquivo GEOGRID.TBL.

O esquema 8 apresenta o fluxo geral dos processos que serão seguidos para gerar os dados a serem incluídos diretamente na base de dados do WRF. Se a base de dados apresenta informação com fonte no IBGE este é acertado de acordo com o USGS, depois são feitas as exportações próprias para o arquivo raster e renomeá-los depois. Finalmete serão acertados o INDEX e OBSGRID.TBL para o correto trabalho com o WPS. Para maior detalhe consultar o Capítulo 3 do manual do usuário do WRF.

### (a) Uso e cobertura da Terra

Para rodar o modulo *geogrid* do WPS precisa-se ter as informações de uso e cobertura da Terra. Então, o tratamento dos dados de uso e cobertura da Terra será orientado conforme as categorias da Tabela 10.

Para gerar as informações sobre o uso e ocupação da Terra acurada tem-se inicialmente dados com as informações seguintes: sistema de projeção - Universal Transversal de Mercator (UTM), Datum - 84, Zona - 24 sul. O shapefile (arquivo que contém dados geoespaciais) de uso e cobertura da terra para a RMGV foi atualizada usando dados do período 2007/2008 cedida pelo Instituto Estadual do Meio Ambi-

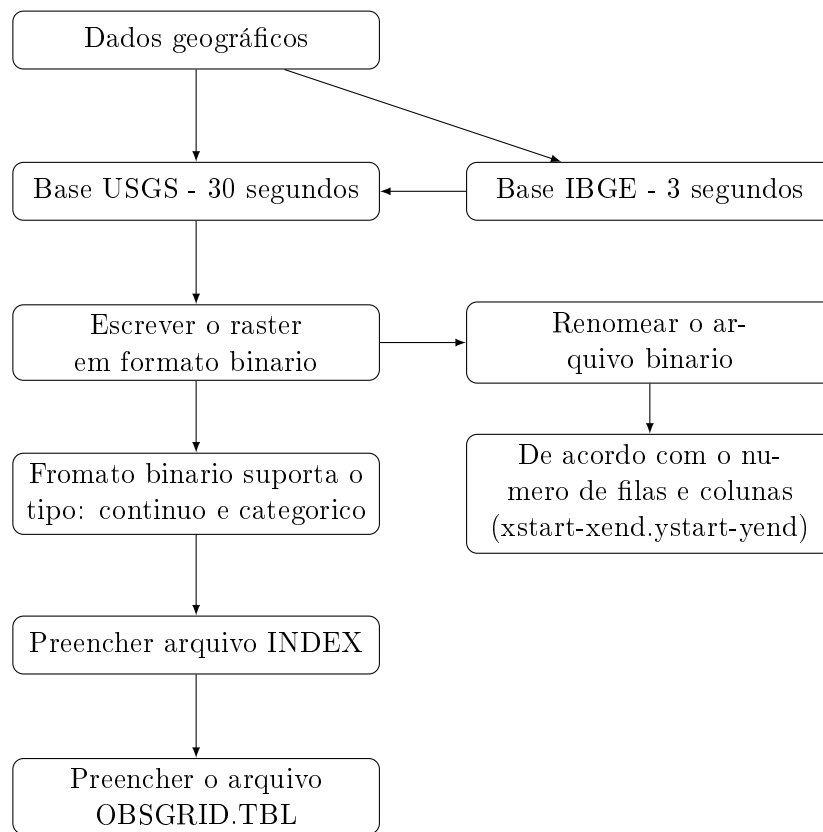


Figura 8: Diagrama de fluxo geral para edição de dados geográficos de entrada para o WPS. Fonte: ARW (2014)

ente do Espírito Santo (IEMA). Seguidamente, realizou-se uma reclassificação das informações do uso e cobertura da terra a partir de ortofotos de 2014 cedidas pela empresa Hiparc Geotecnologia Ltda, com escala 1:5000 e resolução espacial do pixel de 0,25 cm. Como o shapefile gerado tem a projeção no Sistema de Coordenadas de Referência (SRC) Mercator (UTM zone 24S) com informações próprias do IBGE visto na Tabela 9.

O WRF não reconhece as categorias discretas da cobertura da terra do sistema brasileiro, fornecido no mapa novo com informações atuais e acuradas. Como não existe uma equivalência direta entre a classificação USGS e IBGE, adotou-se primeiro a equivalência do IBGE com o sistema MODIS e depois para USGS (equivalência assumida na Tabela 13).

O produto do tipo de cobertura superficial do MODIS identifica 17 classes que são definidas pelo International Geosphere Programme (IGBP), que inclui vegetação natural, terreno urbanizado e em mosaico, e cobertura não vegetativo. Este produto é forne-



cido principalmente para o suporte de pesquisas científicas que requerem de informação relacionada às propriedades e dinâmicas da cobertura do solo global (GLOBION, 2015).

Os mapas obtidos do IBGE fornecem descrição confiável da cobertura original a partir do ano 2000, é uma boa base de dados para comparações com informações obtidas desde o sensoriamento remoto. O mapa de vegetação do IBGE (para todo o Brasil) faz a distinção de 52 classes de vegetação entre as quais temos, a Amazônia que é coberta por floresta composta de árvores de tamanhos médios e grandes (IBGE, 2007). O outro tipo importante de vegetação são os diferentes tipos de *savana* que compreende o bioma *cerrado* (*savana floresta*, *savana arborizada*, *parque savana e grama mista e savana lenhoso*).

Já com os dois sistemas de classificação (IBGE e IGBP) foi preciso realizar as equivalências entre elas. Combinando os diferentes tipos de cobertura do solo (no caso do IBGE) para gerar uma só que compreenda estas e sejam equivalentes ao do IGBP. Seguindo um processo detalhado, primeiro é gerado o reconhecimento da cobertura amazônica, depois é reconhecido as áreas de mata atlântica e finalmente o resto do Brasil para integra-los e obter uma distribuição mais acurada da cobertura vegetal e ocupação humana como é sugerido pelo GLOBION (2015).

Assim, fazendo uso da técnica de classificação supervisionada (associação cada pixel de uma imagem a um "rotulo ou nome" que descreve um objeto real) foram acertados a cobertura segundo as informações das características da terra para cada área. No entanto, quando foram encontrados dados não definidos estes adotaram o valor do tipo mais próximo tanto na classificação de uso e cobertura da terra como para as classes do tipo de solo.

## **(b) Granulometria e textura**

Granulometria e textura tem-se grupamentos de classes, constituídas de unidades taxonômicas distintivas com respeito à composição granulométrica (areia, areia franca, franco arenosa, franco, franco siltosa, silte, franco argilosiltosa, franco argilosa, franco argiloarenosa, argiloarenosa, argila, argilosiltosa e muito arenosa). Usado como informação base para o horizonte A (camada superficial da terra) que faz referência ao tipo de solo superior (soil top) requerido pelo WRF.

Tabela 13: Agrupação de Categorias USGS de uso e cobertura da terra e equivalência aproximada para o sistema MODIS-IGBP (LIANG et al., 20005) e equivalência com as classes usados pelo sistema brasileiro (GLOBION, 2015)

Classe - USGS	Classe - IGBP	Classe - Brasil
1. Urban and Built-up Land	Urban and Built-up	Extração mineral, área edificada, estradas
2. Dryland Cropland and Pasture	Croplands	Pastagem
5. Cropland/Grassland Mosaic	Croplands or Grasslands	Cultivo agrícola
8. Shrubland	Closed Shrublands	Campo rupestre, macega
11. Deciduous Broadleaf Forest	Deciduous Broadleaf Forest	Restinga
12. Deciduous Needleleaf Forest	Deciduous Needleleaf Forest	Reflorestamento - Seringueira
14. Evergreen Needleleaf Forest	Evergreen Needleleaf Forest	Reflorestamento - eucalipto - pinos
15. Mixed Forest	Mixed Forest	Mata nativa
16. Water Bodies	Water Bodies	Massa de água
17. Herbaceous Wetland	Permanent Wetlands	Brejo
19. Barren or Sparsely Vegetated	Barren or Sparsely Vegetated	Solo exposto, afloramento rochoso

Grupamentos de classes mais gerais (arenosa, argilosa, media, muito argilosa e siltoosa) tem prevalência na composição do horizonte B ou C (camada mais próxima da superfície) (IBGE, 2007). Isto foi usado como informação para o tipo de solo inferior (soil bot) requerido pelo WRF. Assim, neste ponto não foram necessários fazer uso das informações da Tabela 10 para acertar as categorias.

### (c) Topografia

Os dados topográficos foram obtidos da página web do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na opção *topodata* com resolução espacial de 90 metros. A elevação é medida a partir do nível do mar, os valores menores ou iguais a zero podem ser utilizados para representar depressões e corpos de água embora em alguns casos podem representar erros nos dados. Estas distorções, erros e vazios foram substituídos usando o método de interpolação do vizinho próximo (valor do pixel mais próximo), com objetivo de conservar as propriedades radiométricas da imagem. O sistema de coordenadas usado foi o World Geodesic System (WGS 84 Datum) em latitude e longitude.

#### 4.2.1 Preparação dos arquivos de entrada para o WRF

Já que os dados geográficos gerados serão exportados em formato ASCII, precisa-se administrar as pastas de dados geográficos de entrada do WPS com conteúdo diverso. Para isso WPS tem uma tabela que detalha informações de cada pasta (GEOGRID.TBL) e um arquivo único que detalha as características dos arquivos (INDEX) que estão dentro de cada pasta.

##### 4.2.1.1 Edição do novo arquivo INDEX

Este arquivo está associado com o conjunto de dados para definir parâmetros específicos e, descreve como devem ser tratados pelo *geogrid*. Assim, o esquema e descrição da transformação de dados para cada rodada dentro do WRF está descrito amplamente no capítulo 3 do manual do usuário do WRF (ARW, 2014). Seguindo as indicações do manual, foram considerados as características próprias de cada imagem (antes chamado de dados geográficos); tamanho do pixel armazenando em 1, 2, 3 ou 4 bytes que definem a quantidade de cores usados para representar cada imagem, como se ve na Tabela 14.

Tendo em conta o tamanho dos arquivos de imagem; um bit pode armazenar 2 valores diferentes (0 e 1), dois bits pode armazenar 4 valores diferentes (00, 01, 10, 11) e oito bits (1 byte) pode armazenar 256 valores diferentes.

Tabela 14: Armazenamento de arquivos de imagem, segundo (FILHO; NETO, 1999)

Imagem	Número de bytes	Tamanho do pixel
256 tons de cinza	1 byte/pixel	256 kBytes
Tons de cinza de alta qualidade	2 byte/pixel	512 kBytes
Fotografia ou true color	3 byte/pixel	750 kBytes
Pixeis reais	4 byte/pixel	1 MBytes
Pixeis complexos	8 byte/pixel	2 MBytes

É preciso preencher no arquivo INDEX o tipo de informação continua (topografia) ou categórica (classes e categorias), número de pixels (horizontais e verticais) e centro do mapa. Estas informações são necessários para a leitura dos nossos novos mapas. Assim, trabalhou-se considerando a projeção *regular\_ll*, tamanho de pixel em graus  $9,6225E - 5$  (tipo de solo, uso e cobertura da terra) e  $8,333E - 4$  (topografia) tanto para o eixo em "x" como em "y", tamanho de pixel armazenado 2 bytes e o número de pixels extra para a interpolação de imagens *tile\_brd* igual a 3.

#### 4.2.2 Edição do arquivo GEOGRID.TBL

Já que o WRF usa uma quantidade significativa de dados geofísicos, que incluem categorias de uso e cobertura do solo, altitude terrestre, temperatura da espessura do solo (média anual), fração de vegetação (mensal), albedo (mensal) e albedo (máximo da neve). O GEOGRID.TBL (localizado dentro da pasta GEOGRID) é um arquivo de texto que define os parâmetros específicos de cada conjunto de dados para ser interpolados pelo *geogrid*.

Esses dados são interpolados numa grade modelada de uso específico mediante uma técnica específica para cada tipo de dados geofísicos diferente. Existem várias técnicas, estas usam abordagens distintas de interpolação conservando os aspectos de detalhes da imagem.

Então, no WRF o usuário pode controlar o método de interpolação que irão-se a usar com os dados de geográficos de entrada segundo os requerimentos do trabalho. Os filtros (técnicas de interpolação) mais comuns são: a interpolação por vizinho mais próximo, bilinear, bi cúbica, quadrática, entre outras.

Formam parte das opções do arquivo GEOGRID.TBL, neste são fornecidos estas informações; o nome com que o arquivo será chamado, prioridade do conjunto de dados, tipo de dado (contínuo ou categórica), tipo de interpolação e o endereço padrão do conjunto de dados. Na lista seguinte, se mostra os tipos de interpolação usadas para o desenvolvimento deste trabalho:

1. **Interpolação pelo vizinho mais próximo (nearest\_neighbor)**, também é conhecida como *pixel replication*, é a interpolação mais simples de ser implementada, contudo, apresenta desvantagens por causar distorções em detalhes finos e frequentemente apresenta o efeito *jaggie* em regiões que apresentam bordas. A ideia dessa técnica é atribuir ao novo valor interpolado o valor do nível de cinza do pixel mais próximo da imagem original.
2. **Interpolação bilinear (four\_pt)**, utiliza a média ponderada dos pixels originais que se encontram ao redor do novo pixel. A distância que estes termos podem obter é valor de um, pois esta é a distância entre dois pixels da imagem original na mesma linha ou coluna. Quanto mais distante o pixel interpolado estiver de algum ponto vizinho, menor será a influência que sofrerá deste pixel.
3. **Interpolação pela média simples de quatro pontos (average\_4pt)**, usa a

média simples dos quatro pixels que se encontram ao redor do novo pixel, o valor interpolado é a média simples de todos as quantidades validas desses quatro pontos.

4. **Interpolação média da grade-célula (`average_gcell`)**, pode ser usado quando a fonte de dados são de alta resolução para a grade do modelo. O método obtêm a media simples do valor de todo ponto dos dados de fonte, que é o novo valor da nova célula maior.

Estas opções foram usadas para este trabalho, estas mantem o tipo de interpolação padrão usadas pelas interpolações para dados geográficos de resolução mais fina.

### 4.3 Assimilação de dados em quatro dimensões (FDDA)

O analise observacional na modelagem meteorológica é uma análise de meso escala mediante a incorporação de dados de medição observacional, onde os termos de tendência artificial são introduzidos no modelo gradualmente. Para o uso dentro do WRF é feito mediante o programa OBSGRID que usa como dados de entrada as saídas do METGRID (parte do pacote WPS) e dados de observações superficiais. Assim, baseados nas saídas do OBSGRID trabalharemos o relaxamento Newtoniano também conhecido como analise *nudging*.

#### 4.3.1 Analise Objetiva no OBSGRID

A secção 3 do manual do WRF descreve o procedimento de preparação dos dados de observações meteorológicas superficiais para serem usados no OBSGRID. Estão em formato relatórios curtos por estações e tem 3 partes principais; relatório e descrição para cada estação, gravação de dados e finalização do relatório, como se ve na Figura 9.

Os arquivos que contém os relatórios a cada 3 horas devem utilizar sempre a seguinte estrutura (padrão): "OBS\_filename:<YYYYMMDD\_HH>".

Onde, YYYY é o ano, MM o mês, DD o dia e HH a hora inicial do registro em cada relatório.

Entanto, no trabalho com o OBSGRID tem-se 4 formas de representar a influência de cada dado de observação superficial.

Descrição	station_latitude, station_longitude, station_id,
	station_name, type_of_observation, observation_source,
Fin Dados	station_elevation, num_valid_fields, num_errors,
	num_warnings, report_number, number_of_report_duplicates,
	is_this_a_sounding, is_this_a_bogus_observation,
	discard_the_report, time_of_report, julian day,
	report_time, slp, slp_qc, ref_pres, rpres_qc, ground_t,
	t_qc, sst, sst_qc, psfc, psfc_qc, precip, precip_qc,
	t_max, t_max_qc, t_min, t_min_qc, t_min_night,
	t_min_night_qc, p_tend03, tend03_qc, p_tend24, tend24_qc,
	cloud_cvr, cloud_qc, ceiling, ceiling_qc
	pressure, p_qc, height, z_qc, temperature, t_qc,
	dew_point, td_qc, speed, spd_qc, direction, dir_qc, u,
	u_qc, v, v_qc, rh, rh_qc, thickness, tn_qc
	num_valid_fields, num_errors, num_warnings

Figura 9: Formato por partes do relatório que contem os dados observacionais. Fonte, adaptado do ARW (2014)

**Esquema Cressman** , atribui a cada observação um raio de influência circular, o campo da primeira aproximação para cada ponto da grade é ajustado mediante a contagem de todas as observações que são influenciadas, como se ve na Figura 10.

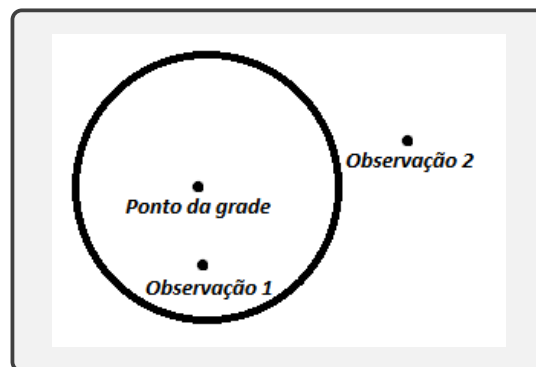


Figura 10: Esquema Cressman. Fonte, adaptado do ARW (2014)

**Esquema Elipse** , na análise do vento e umidade relativa influenciados fortemente pelo vento nos diferentes níveis de pressão, os círculos do esquema Cressman são esticados formando elipses na direção do fluxo do vento, como se vê na Figura 11.

**Esquema Banana** , na análise do vento e umidade relativa nos diferentes níveis de pressão, os círculos são alongados na direção do fluxo do vento e curvados ao longo das linhas de corrente, tendo como resultado a forma de uma banana, em condições de ventos fracos são reduzidos para o esquema Cressman original, como se vê na Figura 12.

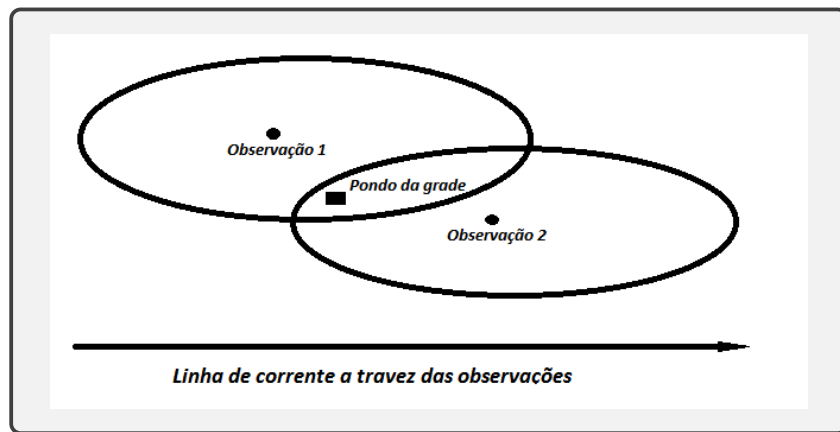


Figura 11: Esquema Elipse. Fonte, adaptado do ARW (2014)

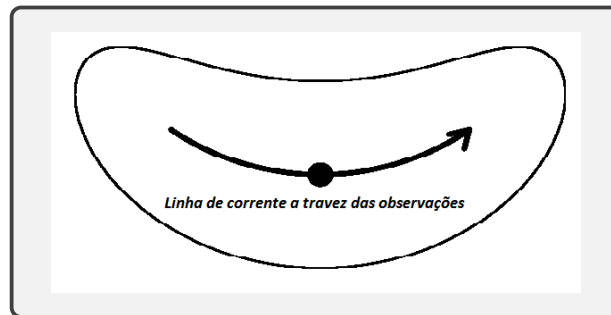


Figura 12: Esquema Elipse. Fonte, adaptado do ARW (2014)

**Esquema Multiquadrático** , usa a função básica radial hiperbólica para desempenhar a análise objetiva, "usar este esquema com cuidado, pode produzir resultados errados em áreas onde tem poucas observações disponíveis ".

Embora, no momento da edição do NAMELIST só estão disponíveis para o trabalho do OBSGRID o Esquema Cressman (utilizado para este trabalho) e o Esquema Multiquadrático. No entanto, estes são alternado diretamente pelo OBSGRID de acordo com a quantidade de dados.

Assim, o esquema do programa OBSGRID: é rodado diretamente depois do *metgrid.exe* e usa os *met\_em\** como entrada, também são requeridos as observações como dados de entrada. Por tanto, como é mostrando na Figura 13, o METGRID gera os arquivos *met\_em\**, o wrf\_obs neste ponto são gerados os relatórios dos arquivos de monitoramento superficial. Estes dois se juntam fazendo uso do OBSGRID que finalmente tem como saída arquivos novos com o nome *metoa\_em\**

A saída do OBSGRID providencia as condições iniciais e de contorno, estes arquivos novos

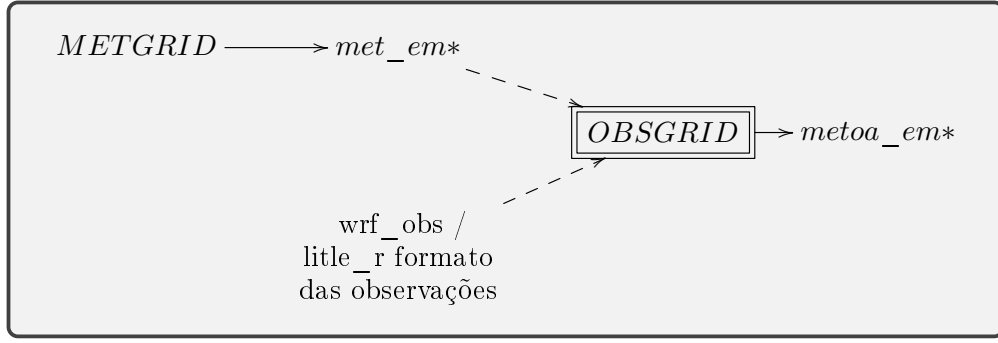


Figura 13: Diagrama de fluxo para o OBSGRID. Fonte: ARW (2014)

têm o nome de *metoa\_em\** com formatos idênticos aos *met\_em\**, cuja única diferença é que estes arquivos novos têm incorporado informação observacional para localizações específicas.

#### 4.3.2 O nudging

O relaxamento Newtoniano ou *nudging* é um método de assimilação de dados contínuo. O *nudging* é um tipo de assimilação de quatro dimensões já que não é aplicado em um tempo único. Esta ajusta as variáveis dinâmicas do modelo gradualmente na direção das observações mediante a adição de uma ou mais equações prognósticas. É baseado em técnicas de tendência artificial para assim providenciar uma representação mais realista do período de tempo modelado (STAUFFER; SEAMAN, 1990; STAUFFER; SEAMAN, 1994).

Há variação das previsões de uma modelagem em diferentes espaços de tempo. Para uma variável aleatória  $\theta$  esta variação é representada por:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F(\theta) \quad (11)$$

Onde,  $F(\theta)$  representa todos os efeitos físicos no modelo, para um ponto ou para o espaço. Assim, o processo de assimilação de dados na meteorologia consiste em unir, de maneira estatística e ponderada, dados observacionais e condições de contorno (condições iniciais) dos modelos com a finalidade de desenvolver uma análise mais acurada (KALNAY, 2003), cuja razão da variação da equação 11 no tempo é obtida desde a forma simplificada:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F(\theta) + G_{\theta} W_{\theta} (\hat{\theta}_0 - \theta) \quad (12)$$



Sendo:  $F(\theta)$  termo de tendência física devido a todas as variáveis (qualquer variável),  $G_\theta$  é a peso do *nudging* (tamanho relativo do termo),  $W_\theta$  função de peso espaço-temporal do relaxamento (depende do tempo) entre a observação e a localização temporal modelada,  $\hat{\theta}_0$  valor para qual se quer fazer o resultado tender.

A escala de tempo do relaxamento,  $G_\theta$ , é escolhido baseado em considerações empíricas e pode depender da variável a ser assimilada pela simulação numérica, o fator  $G_\theta$  é selecionado usualmente para satisfazer o critério de estabilidade numérica  $G_\theta \leq 1/\Delta t$ , tipicamente este valor está na faixa de  $10^{-4}$  a  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  (STAUFFER; SEAMAN, 1990).

Como se ve na Figura 14 se  $G_\theta$  é pequeno demais, a solução converge na direção das observações mais rápido, e a dinâmica não tem tempo suficiente para se adaptarem. Se  $G_\theta$  é grande demais, os erros no modelo podem crescer muito antes do *nudging* se tornar eficaz (KALNAY, 2003).

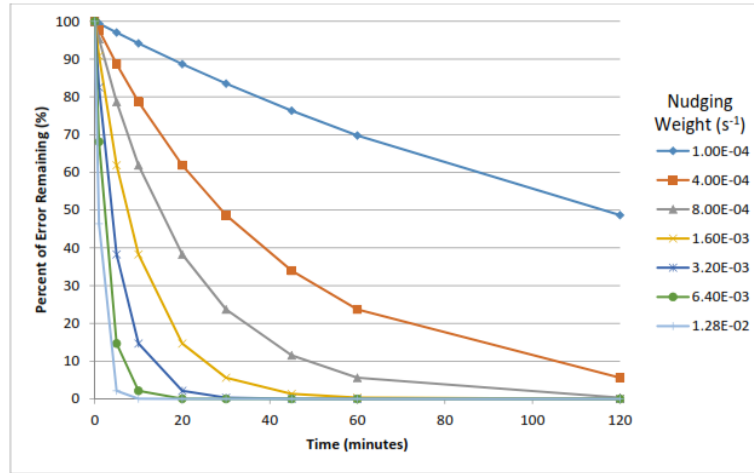


Figura 14: Decréscimo do erro do modelo com o tempo, assumindo vários pesos do *nudging*. Tomado do: Reen (2016)

Na análise de assimilação apresentada na equação 12 de dados o peso temporal da função quadridimensional para cada observação é descrito, na forma seguinte:

$$W_\theta = w_{xy} \cdot w_\sigma \cdot w_t \quad (13)$$

Onde,  $w_{xy}$  é a função de peso espacial de Cressman,  $w_\sigma$  é a função de peso vertical e  $w_t$  é função de peso temporal.

Para o peso da função espacial para cada observação desde um ponde de grade é obtida

num passo de tempo na horizontal  $w_{xy}$ , tem-se a função de peso espacial de Cressman:

$$w_{xy} = \begin{cases} \frac{R^2 - D^2}{R^2 + D^2}, & 0 \leq D \leq R \\ 0, & D > R \end{cases} \quad (14)$$

Onde,  $R^2$  é o raio (km) de influência e  $D^2$  é a distância (km) desde o a observação até o ponto da grade.

Para o peso da função vertical para cada observação desde um ponto de grade tem-se  $w_\sigma$ :

$$w_\sigma = \begin{cases} 1 - \frac{\sigma_O - \sigma}{R_\sigma}, & |\sigma_O - \sigma| \leq R_\sigma \\ 0, & |\sigma_O - \sigma| > R_\sigma \end{cases} \quad (15)$$

Onde,  $R_\sigma$  é raio de influência vertical e  $\sigma_O$  é a posição vertical da observação.

Para o peso da função temporal para cada observação desde um ponde de grade tem-se  $w_t$ :

$$w_t = \begin{cases} 1, & |t - t_0| < \tau/2 \\ 1 - \frac{\tau - |t - t_0|}{\tau/2}, & \tau/2 \leq |t - t_0| \leq \tau \\ 0, & |t - t_0| > \tau \end{cases} \quad (16)$$

Onde,  $t$  é o tempo relativo a modelar,  $T_0$  tempo relativo modelado num instante e  $\tau$  é a metade do período de um espaço de tempo sobre o qual a observação influência durante a modelagem.

## 4.4 Configuração experimental

Esta seção apresenta as especificações utilizadas para o desarrollo do trabalho e o procedimento utilizado para realizar o modelagem com a influência do *nudging*.

### 4.4.1 Especificações para as rodadas

Neste trabalho foi usado o WRF versão 3.6.1, cujas condições iniciais e de contorno baseado nos dados de reanalise obtidos do modelo NCEP-FNL com intervalos de frequência a cada

seis horas, disponíveis no site web <http://rda.ucar.edu/>. Os dados do modelo NCEP-FNL tem resolução horizontal aproximada de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  (latitude x longitude) com resolução vertical 27 níveis que variam de 1000 até 0.27 hPa, separados de forma distinta de acordo com a proximidade ao nível do solo (NCEP, 2003).

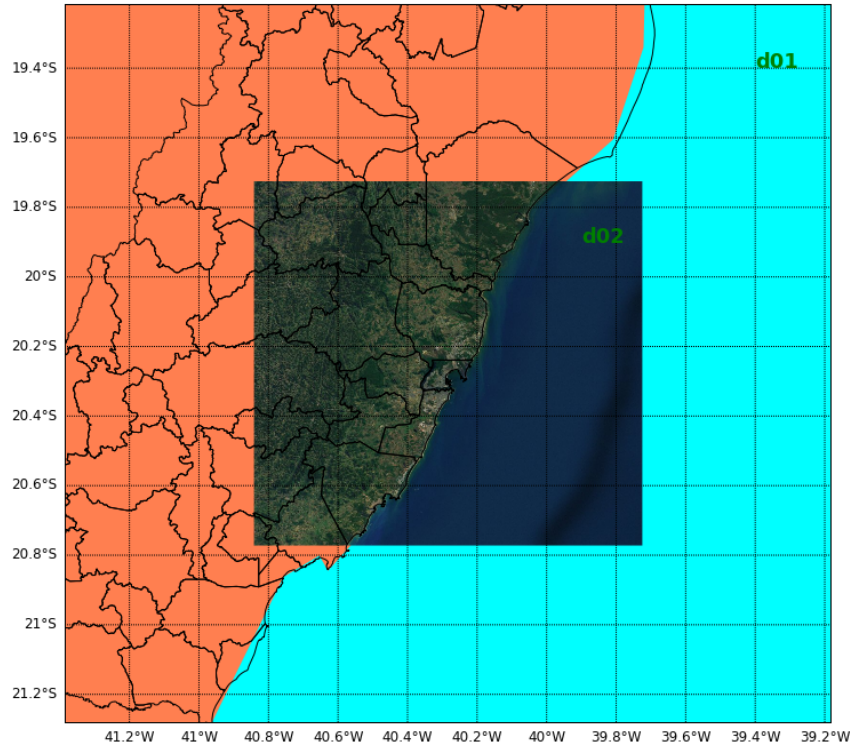


Figura 15: Aninhamento de grades que abrange parte do estado de Espírito Santo (d01) e para a RMGV (d02).

Utilizou-se para a modelagem dois domínios aninhados com o retorno de dados para o domínio maior (*2-way*), abrangendo a área da RMGV. O primeiro (d01) com a resolução horizontal de 5 km (latitude e longitude) que abrange um espaço horizontal de 240 km. O segundo (d02) com 1 km (latitude e longitude) que abrange um espaço horizontal de 120km. Ambos domínios foram centrados na Estação de monitoramento meteorológico do aeroporto Eurico de Aguiar Salles de Vitória como é mostrado na 15.

Para avaliar o desempenho com os dados geográficos modificados fizeram-se 2 cenários, onde a primeira utiliza o a fonte USGS e o segundo a fonte de dados novas obtidas neste trabalho. Assim, os primeiros cenários avaliados compreendem os dados padrão da base de dados geográficos do WRF fornecido pelo USGS e o segundo cenário compreende as classes de uso e ocupação da terra, categorias de uso do solo e relevo topográfico novos junto aos dados padrão que não foram trabalhados. Além disso, foram utilizados as configurações padrão

dos parâmetros climáticos do WRF para RMGV, como se ve na Tabela 15. O período de tempo modelado foi desde Janeiro até o dezembro do 2010, separados mensalmente e com *spinup* de 2 dias para ambos cenários geográficos.

Tabela 15: Especificações gerais para as rodadas

Parâmetro	Domínio d01	Domínio D02
Geográfico		
Pixeis em "x"	49	121
Pixeis em "y"	49	121
Níveis verticais	21	21
Espaço em m	5000	1000
Física		
Microfísica	Single-moment 3-class	Single-moment 3-class
Radiação	Dudhia Scheme	Dudhia Scheme
Camada superficial	Monin Obukhov Scheme	Monin Obukhov Scheme
Superfície terrestre	Noah land-surface model	Noah land-surface model
CLA	Bougeault-Lacarrere Scheme	Bougeault-Lacarrere Scheme
Cúmulos	Betts-Miller-Janjic scheme	Sem parametrização

Como tem-se várias agrupações de modelagens foram feitas distinções e renomeações para cada de modelagem trabalhado. Tendo em conta o tipo de dado que foi usado para cada modelagem (por exemplo, dados geográficos e assimilação de dados), estas se mostram Tabela 16:

Tabela 16: Descrição da agrupação e renomeação das modelagens

Nomenclatura	Especificação
USGS	Modelagens com dados geográficos padrão
NOVOS	Modelagens com dados geográficos novos
NOVOS - d02	Modelagens com a influência do <i>nudging</i> , ativado só para o domínio d02, junto com os dados geográficos novos
NOVOS - d01-d02	Modelagens com a influência do <i>nudging</i> , ativado para o domínio d01 e d02, junto com dados geográficos novos

#### 4.4.2 Ativando o nudging observacional

**Ativando nudging observacional;** no `namelis.input` pode ser ativado usando a opção `obs_nudge_opt`. Opções adicionais serão usadas pra determinar quais variáveis são aplicadas entre estas temos o `obs_nudge_wind`, `obs_nudge_tem` e `obs_nudge_mois` que são os coeficientes da velocidade, direção do vento e temperatura respetivamente. Onde o 0 é usado para desativar esta opção e o 1 a ativa, da mesma forma serão usados cada opção

para cada domínio da previsão. Assim, na Tabela 17 é apresentado os valores padrão usados na modelagem deste trabalho, que influência no desempenho da modelagem de cada domínio.

Tabela 17: Coeficientes *nudging* usados para as modelagens

Domínio	Variável	Coeficiente
Ambos	G	6,0 E-04 s <sup>-1</sup>
Ambos	raio	180 km
Ambos	$\tau$	40 min

Onde, G é a escala de tempo de relaxamento,  $\tau$  é a metade do período temporal da modelagem.

Usando os coeficientes padrão foram feitas modelagens específicas para o ano todo para avaliar o comportamento do *nudging*, com a influência para um domínio (d02) e dois domínios (d01 e d02).

#### 4.5 Avaliação das simulações numéricas

Nesta seção serão apresentados os cálculos utilizados para a obtenção de alguns parâmetros, avaliar o desempenho das modelagens e as faixas de variação para os indicadores estatísticos.

##### 4.5.1 Cálculos da velocidade e direção do vento

Para a velocidade e direção do vento, os cálculos serão baseadas nos cálculos da NCL (2015), onde o cálculo das médias para as duas componentes do vento serão realizadas a partir de medias aritméticas simples. Dado que a saída da modelagem ambas componentes (na horizontal) estão separados, os quais podem ser trabalhados com seguem:

Para o cálculo da velocidade do vento:

$$\overline{Vel} = (\overline{U}^2 + \overline{V}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Para o cálculo da direção do vento:

$$\bar{\theta} = 270 - \text{atan}^{-1}\left(-\frac{\bar{U}}{\bar{V}}\right) * DpeR \quad (18)$$

Onde,  $\bar{Vel}$  é a velocidade do vento,  $DpeR$  é a relação entre  $(180/\pi = 57,29578)$ .

#### 4.5.2 Análises do desempenho do modelo

O tratamento de dados observados e modelados serão usados os métodos estatísticos baseados na média aritmética das variáveis analisadas.

Assim a análise estatística será realizada com base nos indicadores sugeridos por (EMERY et al., 2001), estes são comumente utilizados para avaliação de variáveis meteorológicas, a razão de serem a base para testes definitivos de aceitação ou rejeite da aplicação de uma modelagem particular ou específica.

- Viés Médio (Mean Bias - MB), é simplesmente a diferença entre a média da previsão e a observação, este representa a distorção aleatória (tendência) do valor simulado com o observado (WILKS, 2006), onde os valores positivos indicam que os resultados da simulação são maiores aos observados e negativos indicam que os resultados da simulação são menores aos observados, tal como pode ser observado na equação 19.

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (19)$$

Onde,  $P_i$  é o dado simulado,  $O_i$  é o dado observado e N é o quantidade de dados.

- Erro médio absoluto (Mean Absolute Gross Error - MAGE), quantidade utilizada para medir as diferenças entre previsões observações (para cada par) mostrando as discrepâncias entre elas (WILKS, 2006), em outras palavras indica o erro médio associado entre os valores simulados e observados. Avaliado usando a equação 20

$$MAGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (20)$$

- Raiz do erro quadrático médio ( Root Mean Square Error - RMSE), esta forma de expressão tem a vantagem de conservar a variável de previsão fazendo-o mais fácil de interpretar como uma magnitude de erro típica (WILKS, 2006). Avaliando as

diferenças entre a distribuição desejada e a real, dando peso maior aos erros grandes, assim, as diferenças são mais notórias quando o resultado é grande, este estatístico é calculado mediante a equação 21.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (21)$$

- Índice de concordância (Index of Agreement - IOA), condensa as diferenças entre estimações feitas pelo modelo e observações que indica a concordância entre eles, varia entre 0 indicando que não há concordância entre simulações - observações e 1 indicando a concordância perfeita, é calculado mediante 22

$$RMSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (22)$$

Onde:  $O_i$  é a observação  $i$ ,  $P_i$  é a previsão  $i$ ,  $N$  é o número de pares (observação - predição) das Estações de monitoramento,  $\bar{P}$  é a média das previsões e  $\bar{O}$  é a média das observações.

Como a direção do vento tem natureza circular os parâmetros estatísticos devem ser considerados cuidadosamente, como é sugerido por (REBOREDO et al., 2015). Tanto para a avaliação do MB e para o MAGE, já que a diferença entre o valor modelado e observado estão sempre entre  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$ .

Sim  $P_i < O_i$ :

$$P_i - O_i \quad \text{sim} \quad |P_i - O_i| < |360 + (P_i - O_i)| \quad (23)$$

$$360 + P_i - O_i \quad \text{sim} \quad |P_i - O_i| > |360 + (P_i - O_i)| \quad (24)$$

Sim  $P_i > O_i$ :

$$P_i - O_i \quad \text{sim} \quad |P_i - O_i| < |(P_i - O_i) - 360| \quad (25)$$

$$(P_i - O_i) - 360 \quad \text{sim} \quad |P_i - O_i| < |(P_i - O_i) - 360| \quad (26)$$

#### 4.5.3 Benchmarks - faixa de variação especiais para os indicadores estatísticos

O objetivo de estabelecer a faixa de variação esperados para os indicadores estatísticos é obter critério para avaliação da performance de previsão meteorológica aceitável do modelo. Conforme é mostrado na Tabela 18 estes valores representam o critério base para avaliar se o resultado das simulações meteorológicas de meso escala é adequado. Os indicadores de desempenho propostos por Emery et al. (2001) tentam minimizar o erro e maximizar o IOA (índice de concordância) para fazer um análise mais sensível e compreensivo dos resultados das modelagens, dado que é necessário determinar a melhor configuração para o nosso domínio geográfico.

Mediante os indicadores estatísticos obtemos informação de como as incertezas do modelos estão de acordo com as observações. Tendo as seguintes considerações; alguns aplicações são mais difíceis de modelar que outras (dependem das condições físicas simulados), usam diferentes sistemas de modelagem (associado a diferentes tratamentos físicos e condições), eles são aplicados em vários níveis de erro técnico e avaliados usando parâmetros de predição-observação de quantidades diferentes.

Onde a Tabela 18 apresenta os Benchmarks, os números entre parêntesis representam a altura de medição.

Tabela 18: Métricas dos indicadores estatísticos. Fonte: (EMERY et al., 2001)

Variável	Análise estatístico	Indicador
Velocidade do Vento (10 m)	MB RMSE IOA	<i>entre</i> $\pm 0,5$ m/s $\leq 2,0$ m/s $\geq 0,6$
Direção do Vento (10 m)	MAGE MB	$\leq 30$ graus <i>entre</i> $\pm 10$ graus
Temperatura do ar (2 m)	MB MAGE IOA	<i>entre</i> $\pm 0,5$ k $\leq 2$ k $\geq 0,8$



Como os critérios apresentados na Tabela 18 não sempre são atendidos, várias pesquisas apontam ter dificuldade em atingir estes índices (BORGE et al., 2008; ZHANG et al., 2014; REBOREDO et al., 2015). Também, no trabalho realizado pelo Emery et al. (2001) reporta-se indicadores estatísticos fora das faixas indicadas, principalmente para a direção do vento. No entanto, dado que é necessário ter a melhor qualidade de ajuste e desenvolvimento do modelo terão que ser incluídos faixas de variação dos parâmetros estatísticos para simulações, dos quais serão tomados os máximos e mínimos para cada indicador. Estas faixas são apresentados na Tabela 19:

Tabela 19: Métricas da faixa de Indicadores estatísticos

<b>Variável</b>	<b>Análise estatístico</b>	<b>(EMERY et al., 2001)</b>	<b>(BORGE et al., 2008)</b>	<b>(REBOREDO et al., 2015)</b>	<b>(ZHANG et al., 2014)</b>
Velocidade do Vento	MB	-0,40 a 1,75	-0,59 a 0,59	-0,60 a 1,13	-0,9 a 0,9
	RMSE	1,49 a 2,50	1,94 a 3,79	1,58 a 2,53	1,5 a 3,0
Direção do Vento	MB	-18,73 a 20,08	-38,33 a -7,94	-13,40 a 0,60	-14 a 15
	MAGE	20,57 a 88,64	55,91 a 85,46	57,24 a 75,97	0 a 61

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é dividido em duas partes, onde a Seção 5.1 apresenta os resultados das modelagens realizadas com os dados geográficos de relevo, uso e ocupação do solo padrão USGS versus os trabalhados especificamente para a RMGV com resolução maior, a Seção 5.2 apresenta os resultados da avaliação o desempenho das modelagens com o uso do nudging para a RMGV.

### 5.1 Relevo e ocupação do solo

A apresentação de resultado referentes ao relevo e ocupação do solo é dividida em 3 etapas: a primeira apresenta as diferentes resoluções dos mapas usados para a modelagem, a segunda o impacto dos mapas nas modelagens desenvolvidas e finalmente o desempenho das modelagens para o domínio de interesse (d02), em comparações necessárias.

#### 5.1.1 Mapas

Os mapas realizados para as modelagens (relevo topográfico, categorias de uso e ocupação do solo e tipo de solo) foram usados como dados de entrada de terreno e interpoladas depois pelo WPS para a modelagem com o WRF, as saídas destas interpolações são apresentados nesta seção.

##### 5.1.1.1 Relevo

Para produzir as simulações com suficiente acurácia, foram usadas duas bases de dados diferentes (USGS e NOVOS) como pode-se ver na Figura 16 e 17, estas mostram a saída depois das interpolações feitas pelo WRF para o domínio d02. Onde para o domínio d02 a altura mínima é ao nível do mar (0 metros) e a altura máxima representado no mapa de relevo fornecido pelo NOVOS e USGS é de 966,4408 na parte leste do domínio. Embora, para os maiores altitudes estão localizados na Região Serrana, na parte oeste do domínio. O relevo para este domínio é constante sem muita variação salvo o maciço rochoso (Mestre Álvaro) uma das maiores elevações litorâneas da costa brasileira (IBGE,

2016), que é localizada próximo ao litoral marinho capixaba no município da Serra. Na Figura 17 mostra-se com maior detalhamento a variações do relevo da parte serrana do estado que enquadra o domínio de interesse, podendo-se notar na parte norte e leste mais especificamente mostrando nesta grandes diferenças entre as duas figuras de variação do relevo, é possível ter melhor detalhamento também para a região litorânea pertencente ao município de Guarapari (  $46,6^{\circ}$  longitude oeste,  $20,6^{\circ}$  latitude sul). Pelo que se vê a maior parte do domínio tem menos de 200 metros de altitude passando para altitudes maiores mais notáveis na região serrana.

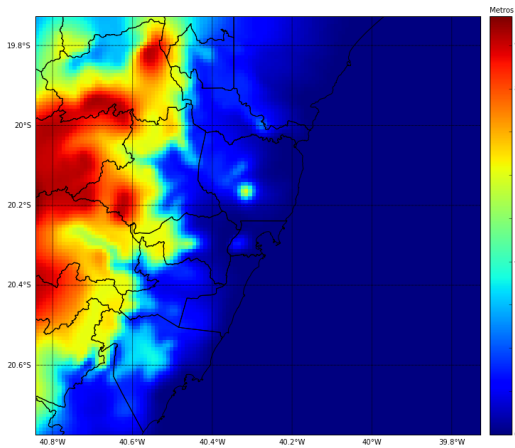


Figura 16: Saída da interpolação do Relevo topográfico USGS

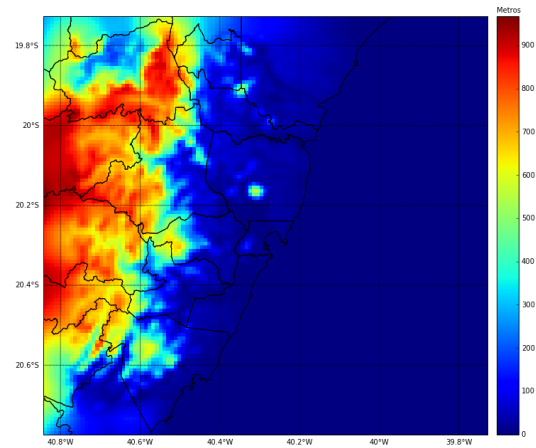


Figura 17: Saída da interpolação do Relevo topográfico NOVOS

Cabe mencionar que as diferenças que mostram as figuras não são produto do tipo de interpolação adotada já que as duas usaram a mesma (interpolação pelo vizinho próximo). As diferenças observadas entre as Figuras 16 e 17 são produto da resolução dos dados. Porque, os dados USGS tem proporção de 1.081 pixels (na entrada) por cada 1 pixel (na saída) representado na modelagem (resolução de 900 metros aproximadamente) e os dados NOVOS tem proporção de 10.81 pixels (na entrada) por cada 1 pixel (na saída) representado na modelagem (resolução de 90 metros aproximadamente).

Assim, para ter melhor perspectiva da distribuição do relevo foi feito a contagem da quantidade de pixels pertencente ao relevo topográfico, agrupados em faixas de altitudes como pode-se ver na Tabela 20. Para o mapa de relevo fornecido pelo USGS mais da metade (56,5%) do domínio não é maior que 50 metros de altitude, diminuído as proporções de conforme incrementa-se a altitude e assim apenas 3,8% supera os 900 metros de altitude. Por outro lado, o relevo fornecido pelo NOVOS mais da metade (61,0%) do domínio não

é maior que 50 metros de altitude, diminuído as proporções de conforme incrementa-se a altitude e assim apenas 2,5% supera os 900 metros de altitude.

Tabela 20: Contagem e proporção de pixels em intervalos de altitude na saída do *geogrid*

Faixa de altitude	USGS	Percentagem	NOVOS	Percentagem
-0,00 - 48,32	8136	56,50	8788	61,03
48,32 - 96,64	664	4,61	867	6,02
96,64 - 144,97	789	5,48	380	2,64
144,97 - 193,29	623	4,33	242	1,68
193,29 - 241,61	209	1,45	227	1,58
241,61 - 289,93	218	1,51	203	1,41
289,93 - 338,25	339	2,35	235	1,63
338,25 - 386,58	195	1,35	213	1,48
386,58 - 434,90	154	1,07	206	1,43
434,90 - 483,22	170	1,18	216	1,50
483,22 - 531,54	201	1,40	221	1,53
531,54 - 579,86	246	1,71	242	1,68
579,86 - 628,19	533	3,70	252	1,75
628,19 - 676,51	400	2,78	295	2,05
676,51 - 724,83	261	1,81	400	2,78
724,83 - 773,15	223	1,55	396	2,75
773,15 - 821,47	247	1,72	338	2,35
821,47 - 869,80	241	1,67	313	2,17
869,80 - 918,12	446	3,10	274	1,90
918,12 - 966,44	105	0,73	92	0,64

#### 5.1.1.2 Uso e ocupação da terra

Obtendo os mapas das categorias de uso e ocupação do solo, estes foram inseridos no conjunto de dados de entrada do WRF para a posterior interpolação, obtendo como resultado para o domínio d02 as Figuras 18 e 19 para cada rodada. A Figura 18 tem dentro do domínio 10 categorias, sendo a de maior percentagem a classe água, com porções específicas que mostram a parte urbana e áreas de cultivo; já para a Figura 19 tem maior acurácia na distribuição da ocupação urbana podendo-se ver porções perto da linha costeira, tem 9 categorias (para o domínio) além de mostrar mais os corpos de água continentais e aumento na proporção de floresta de folha perene.

Por exemplo, regiões que segundo o USGS eram classificados como Mosaico de zonas de cultivo e floresta, com o NOVOS agora pertencem a classe Matagal. Da mesma forma, as regiões classificadas como savana pelo USGS, agora são classificadas em sua maior parte como floresta mista pelo NOVOS. Estas diferenças na classificação podem ter sido geradas

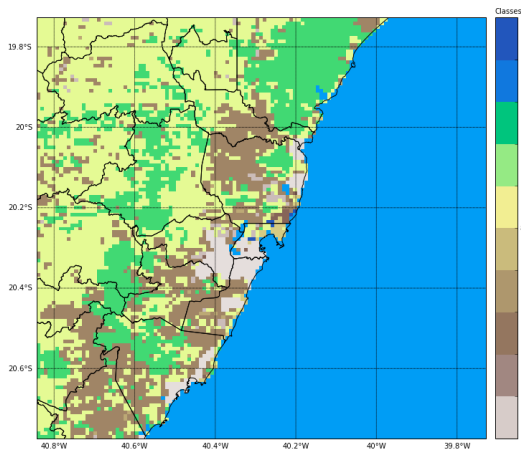


Figura 18: Saída da interpolação das Categorias do uso do solo USGS

Classe	Descrição
1	Terrenos com construções e área urbana
2	Área de cultivo e pasto em zonas áridas
5	Mosaico de zonas de cultivo e pasto
6	Mosaico de zonas de cultivo e floresta
7	Pradaria e pasto
8	Matagal
10	Savana
13	Floresta de folha perene
16	Corpos de água
18	Zonas úmidas arbóreas

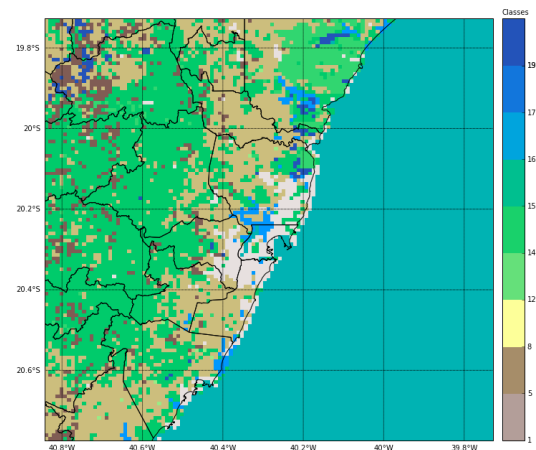


Figura 19: Saída da interpolação das Categorias do uso do solo NOVOS

Classe	Descrição
1	Terrenos com construções e área urbana
5	Mosaico de zonas de cultivo e pasto
8	Matagal
12	Floresta conífera de folha caduca
14	Floresta conífera de folha perene
15	Floresta mista
16	Corpos de água
17	Zonas úmidas herbáceas
19	Estéril ou de vegetação escassa

quando foram feitas as imagens de satélite devido a semelhança entre elas.

Como pode-se ver nas Figuras 18 e 19 as categorias do uso do solo são diferentes. Isto se observa com maior detalhamento na contagem da quantidade de pixels pertencentes a cada classe do uso e ocupação do solo, que é mostrado na Tabela 21. Segundo o mapa de classificação de uso e ocupação do solo fornecida por o USGS há maior proporção de áreas cobertas por água (considerando o oceano) (47,7%), seguido da savana (24,7%) e floresta de folha perene (12,6%). Segundo o mapa de classificação de uso e ocupação do solo fornecida por o NOVOS há maior proporção de áreas cobertas por água (considerando o oceano) (46,5%), seguido por floresta mista (24,2%) e matagal (17,3%).

### 5.1.1.3 Tipo de solo

A Figura 20 apresenta as categorias de tipo do solo USGS. Dentre as 5 categorias de tipo do solo encontradas nesta, as de maior proporção são os solos Francos e Franco argiloso, com poucas porções das outras categorias. Entretanto, a porção de areia mostra-se só na parte norte do estado, tendo porções pequenas de substrato rochoso. Na Figura 21 que representa o mapa de categoria de tipo do solo NOVOS, observa-se maior distribuição na

Tabela 21: Contagem e proporção de pixels das classes de uso e cobertura de solo na saída do *geogrid*

classe	USGS	Percentagem	NOVOS	Percentagem
1	270	1,875	435	3,021
2	74	0,514	- -	- -
5	18	0,125	570	3,958
6	1718	11,931	- -	- -
7	20	0,139	- -	- -
8	48	0,333	2489	17,285
10	3561	24,729	- -	- -
12	- -	- -	13	0,090
13	1820	12,639	- -	- -
14	- -	- -	424	2,944
15	- -	- -	3486	24,208
16	6864	47,667	6693	46,479
17	- -	- -	164	1,139
18	7	0,049	- -	- -
19	- -	- -	126	0,875

extensão do território do solo franco argiloso. A parte costeira partindo do município de Vila Velha em direção à Sul mostra grandes porções de areia. Igualmente, na parte norte do estado que comparados com os dados fornecido pelo USGS tem maior proporção. Já, as outras categorias têm menor proporção para as duas figuras.

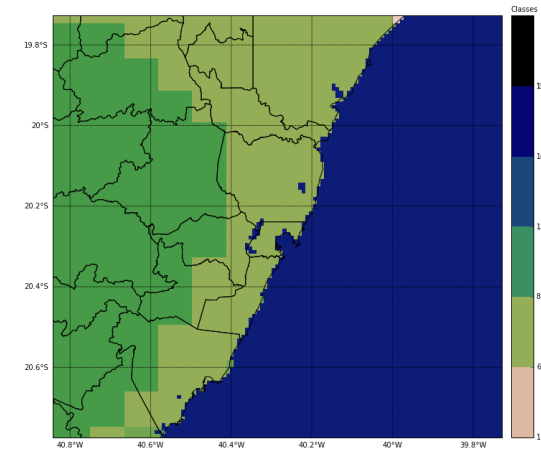


Figura 20: Saída da interpolação das Categorias do tipo do solo USGS

Classe	Descrição
1	Areia
6	Franco
8	Franco argiloso
12	Argila
14	Água
15	Substrato rochoso

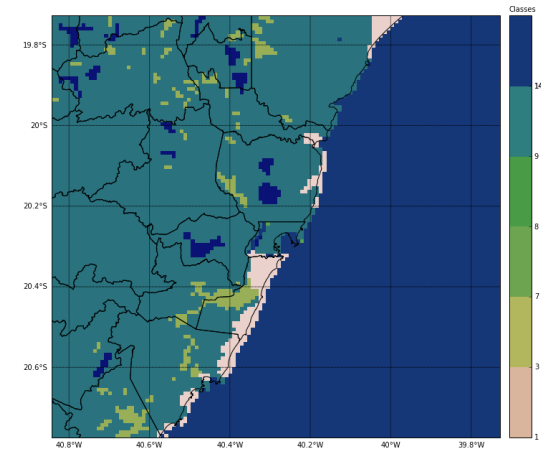


Figura 21: Saída da interpolação das Categorias do tipo do solo NOVOS

Classe	Descrição
1	Areia
3	Franco arenoso
7	Franco argiloso arenoso
8	Franco argiloso siltoso
9	Franco argiloso
14	Água

Sendo notória a diferença entre as categorias do tipo de solo, foi efetuada a contagem da quantidade de pixels pertencentes a cada classe do tipo de solo que é representada na Tabela 22. O sistema de referência USGS mostra maior ocupação de corpos de argila (47,8%), seguido de água (46,7 %) e o resto é em menor proporção. Já para o sistema de referência NOVOS se mostra maior ocupação de corpos de água (47,7 %), seguido das categorias franco argiloso (27,6%) e franco argiloso arenoso (24,4%).

Tabela 22: Contagem e proporção de pixels das classes do tipo de solo na saída do *geogrid*

classe	USGS	Percentagem	NOVOS	Percentagem
1	302	2,097	- -	- -
3	- -	- -	9	0,062
6	328	2,278	- -	- -
7	- -	- -	3511	24,382
8	2	0,014	38	0,264
9	- -	- -	3978	27,625
12	6878	47,764	- -	- -
14	6693	46,479	6864	47,667
15	197	1,368	- -	- -

### 5.1.2 Efeito das atualizações de relevo e uso do solo sobre os resultados das predições do modelo

Para ilustrar o efeito das atualizações de relevo e uso do solo, foi selecionado aleatoriamente o dia 10/07/2010.

Nesta secção serão apresentados os campos da temperatura e vento para o domínio d02 para as 00, 06, 12 e 18 horas, comparando as bases de dados geográficos USGS e NOVOS.

#### 5.1.2.1 Temperatura do ar a 2m

A Figura 22 (Cont.) mostra os campos de temperatura obtidos a 2m de altura para as simulações usando dados USGS e NOVOS. Os dois resultados são bastante similares, porém observa-se que as temperaturas obtidas na região serrana a noroeste do domínio são levemente superiores para a simulação USGS. Enquanto que são encontradas temperaturas levemente superiores para a região serrana na parte oeste do domínio para a simulação NOVOS, para as 00:00 horas. Este efeito está provavelmente relacionado à transferência de calor e umidade na superfície que é fortemente influenciada pelo tipo e ocupação do relevo, dado que, a temperatura é dependente da altitude (SCHICKER et al., 2015). Mostrando

a possível influência dos maciços rochosos, que por causa da resolução de dados de entrada não são percebidos pelo USGS. Onde pode-se ver a influência da região serrana na distribuição da temperatura para as 06:00 horas. O NOVOS apresenta de temperaturas frias para as 12:00 horas, que podem ser produto da movimentação de massas de ar terrestres frios.

Conforme citado anteriormente, estas diferenças estão provavelmente relacionadas aos processos de transferência de calor e umidade na superfície, que são fortemente influenciados pelo tipo de solo, relevo e ocupação do solo. Já que quando são observadas as modelações com o NOVOS, pode-se ver a silhueta da região serrana.

#### **5.1.2.2 Velocidade do vento**

A Figura 23 (Cont.) mostra os campos de vento obtidos a 2m de altura para as simulações usando USGS e NOVOS. Pode-se observar que as diferenças são bastante sutis, com leve influência principalmente sobre a região serrana, provavelmente por causa da melhor descrição do relevo na simulação NOVOS e por causa das diferenças de temperaturas mostradas na seção anterior. Embora se vê de melhor maneira com a brisa marítima entrando na orla de Camburi com o NOVOS. Que pode ser causado pela descida de uma massa de ar fria da outra camada superior.



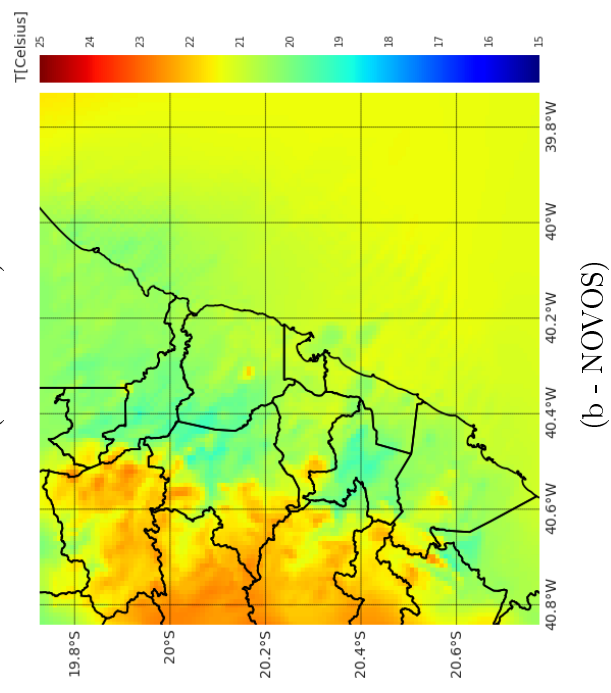
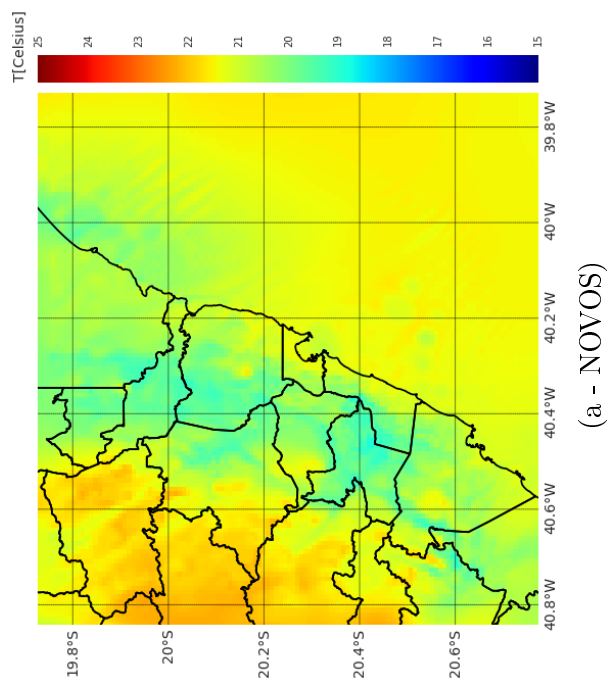
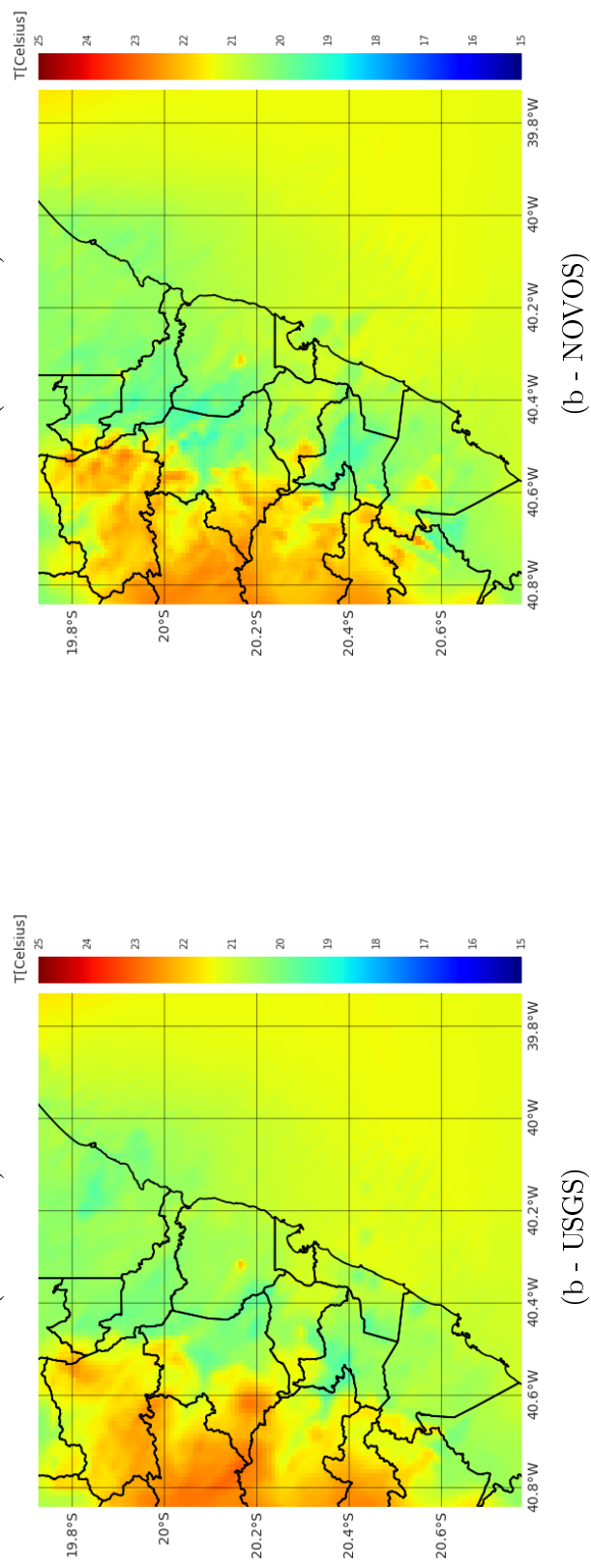
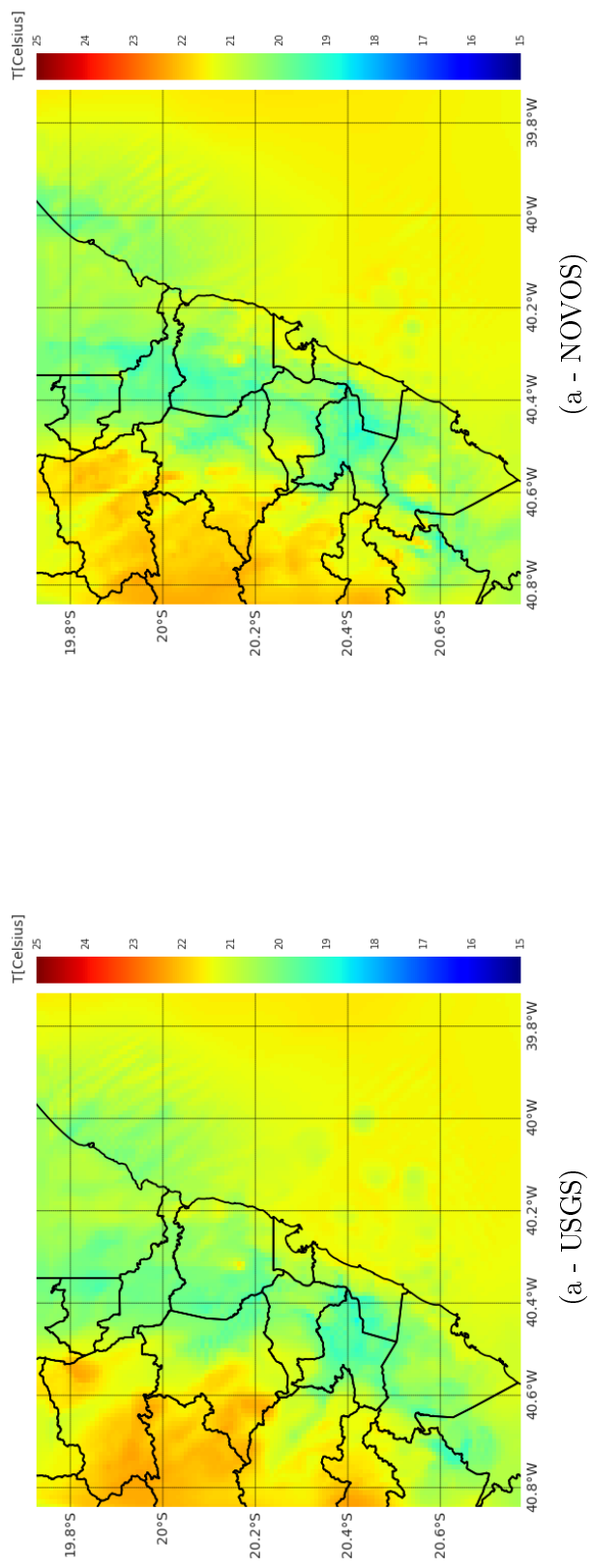
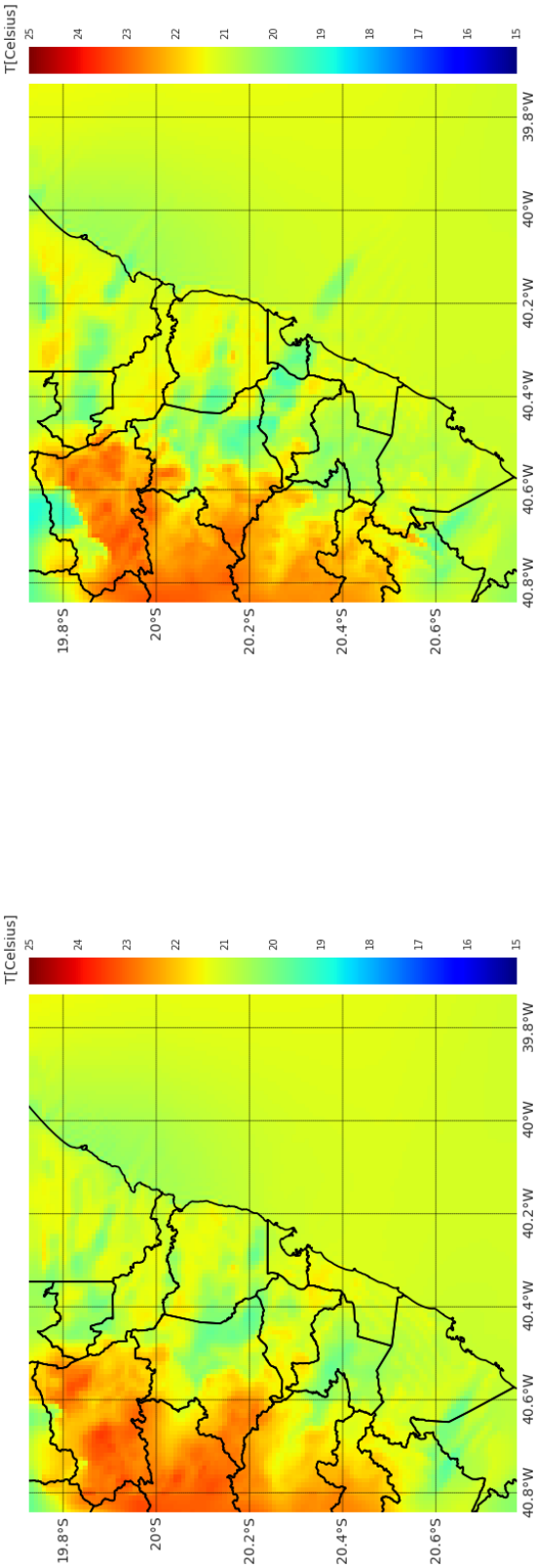
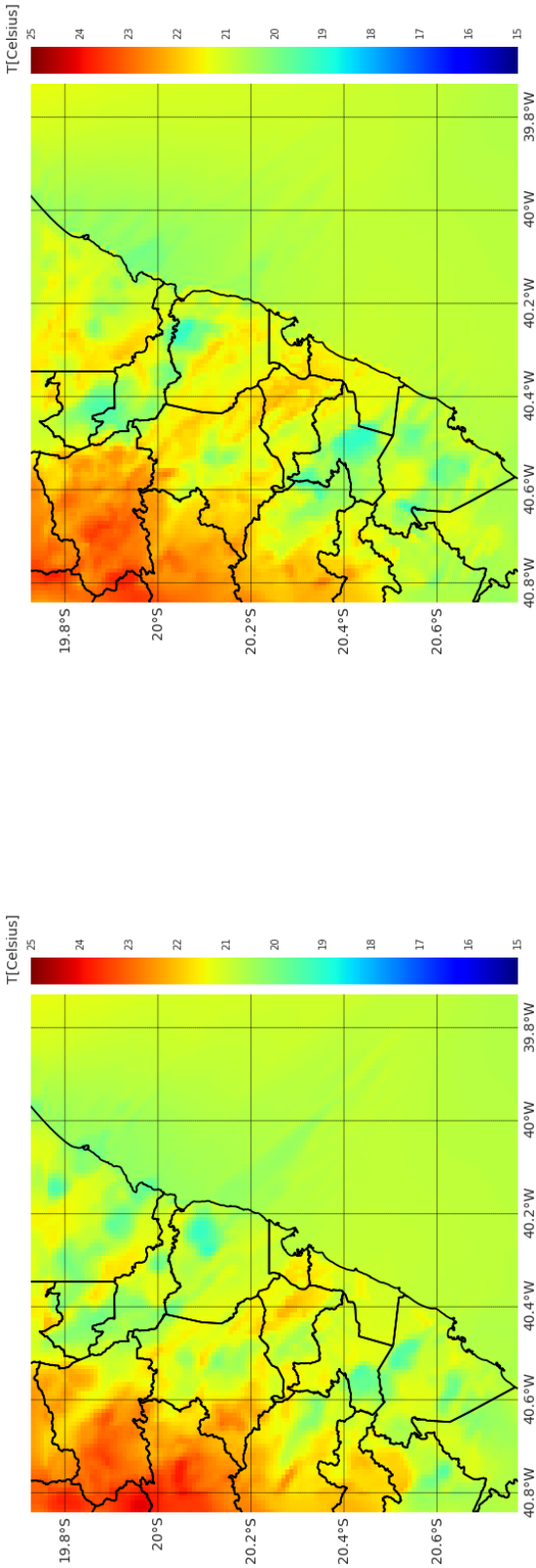


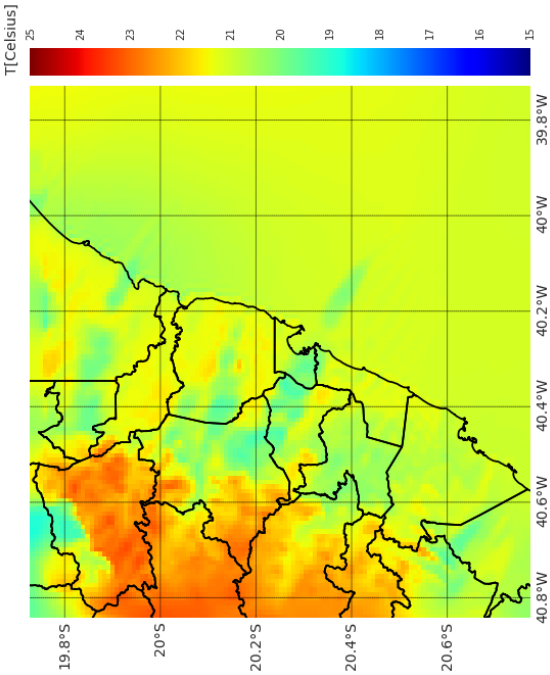
Figura 22: Campo da temperatura do ar a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010



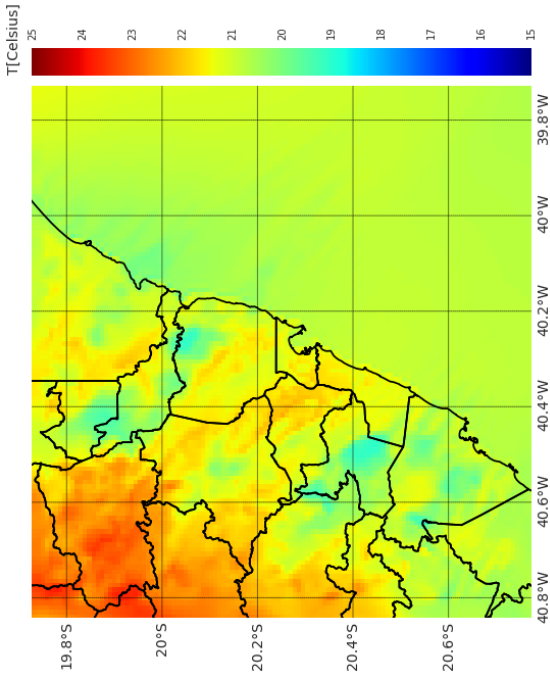
(c - USGS)



(d - USGS)



(c - NOVOS)



(d - NOVOS)

Figura 22 (Cont.): Campo da temperatura do ar a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010

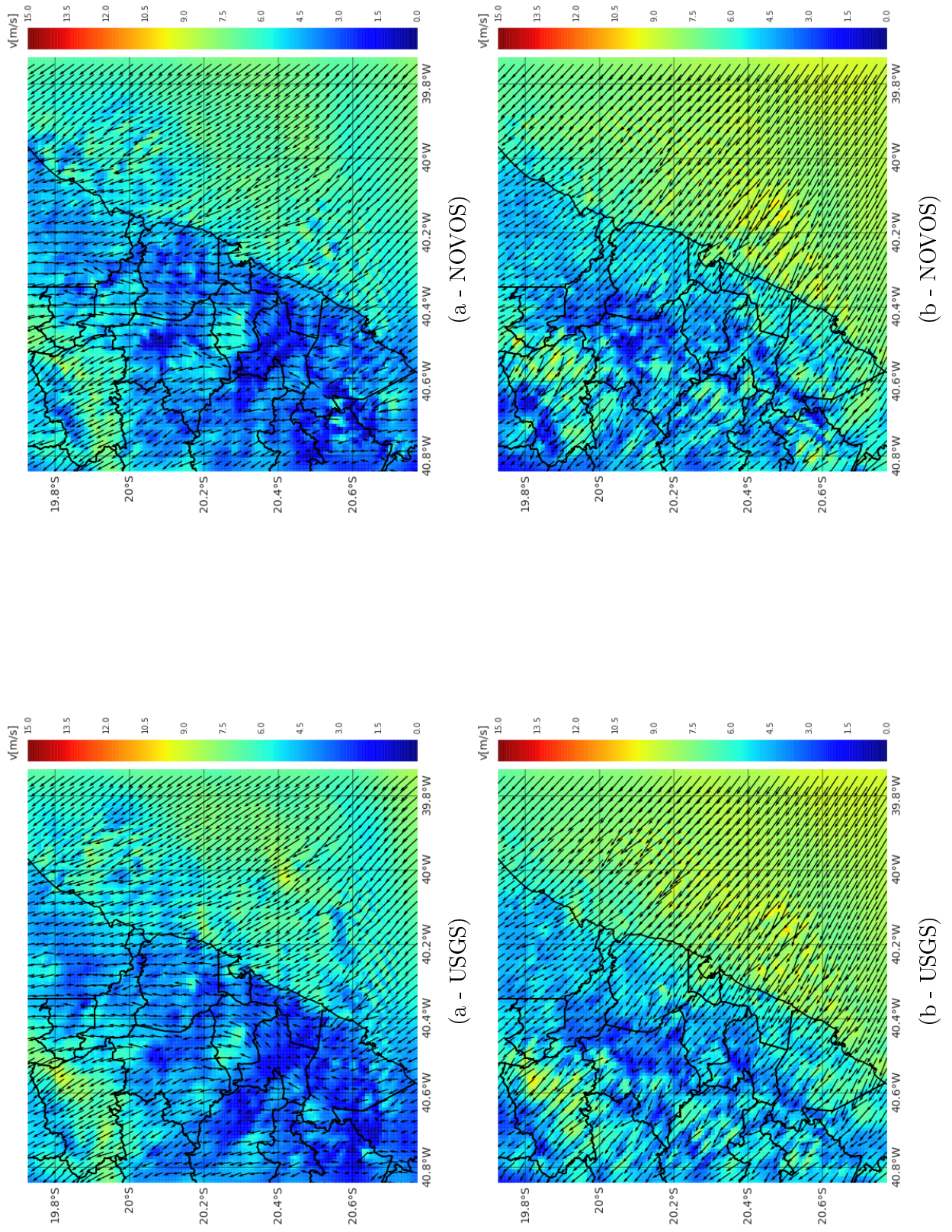


Figura 23: Campo de vento a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010



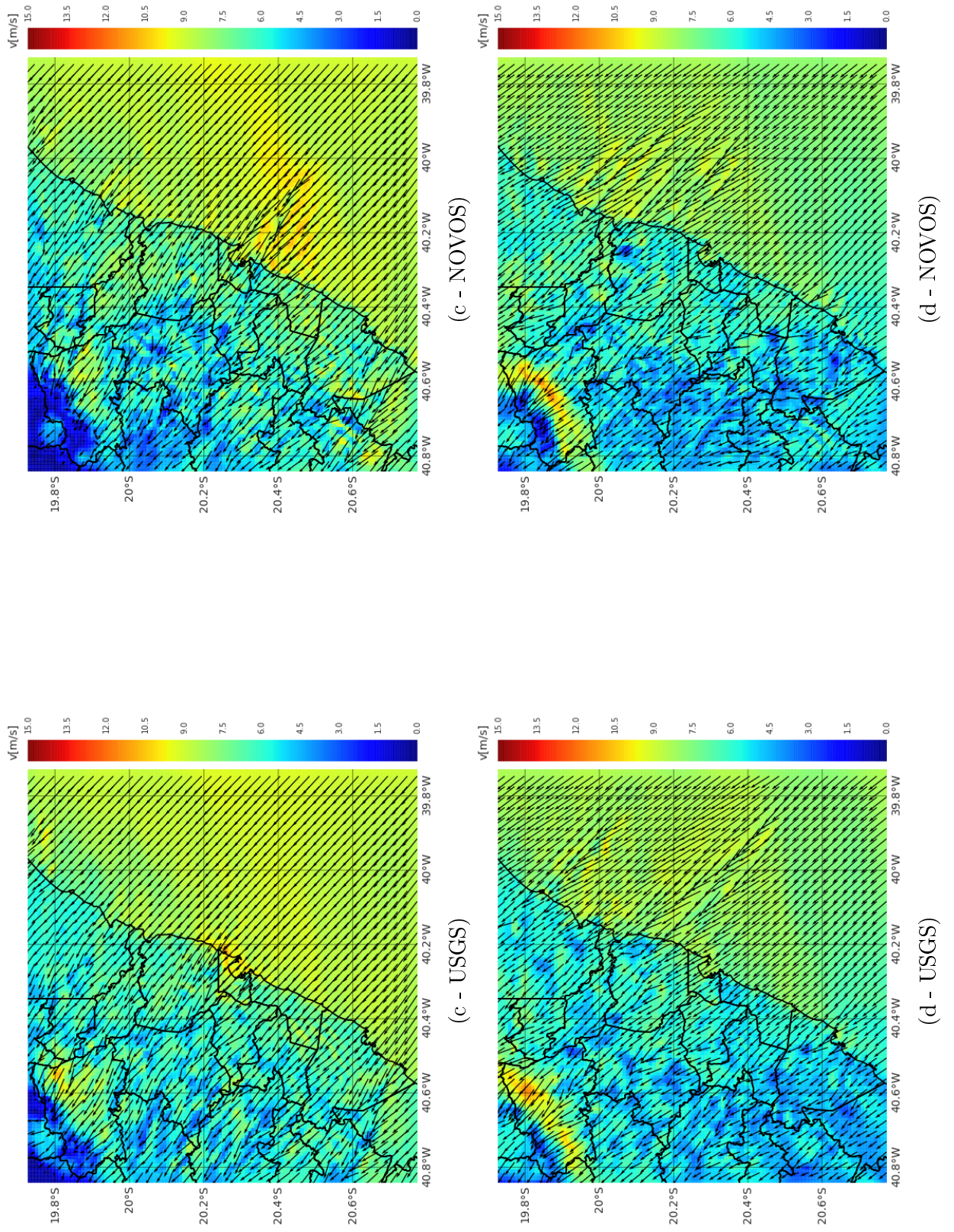


Figura 23 (Cont.): Campo de vento a 2m do domínio d02 para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010

As alterações entre as simulações para a RGV podem ser melhor observadas na Figura 24 (Cont.), que mostra a média, mínima e máxima velocidade do vento para cada mês do ano na posição das estações de monitoramento. Por exemplo, na estação do Aeroporto, a modelagem com dados geográficos de entrada USGS, da como resultado máximos mensais com maior valor no mês de outubro e menor em fevereiro. Para as simulações geradas pelos dados NOVOS, a análise das previsões da velocidade máxima mensal para o ano todo o maior valor é o mês de outubro e o menor em julho. Adicionalmente, é possível observar que as velocidades máximas são reduzidas na simulação NOVOS em relação à USGS para a estação Aeroporto. Por outro lado, para as estações de Carapina e Enseada do Suá os valores máximos levemente superiores na simulação NOVOS em relação à simulação com dados USGS.

Os resultados das modelações com dados geográficos USGS e NOVOS podem têm leve diferença em algumas horas do dia. Assim, parâmetros de inicialização de solo é importante porque influência na temperatura superficial, fluxos superficiais e balanço de energia, o uso apropriado dos dados de inicialização melhora o desempenho da modelagem (SCHICKER et al., 2015).

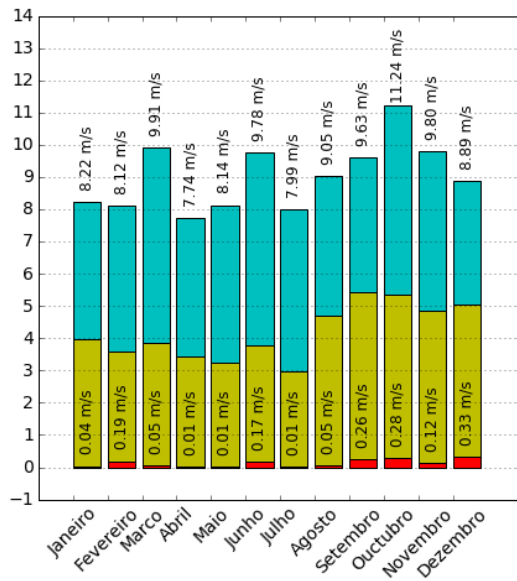
### **5.1.3 Impacto sobre o desempenho do modelo**

Como forma de quantificar as alterações nos resultados das simulações em comparação com dados experimentais, os indicadores estatísticos apresentados na Seção 4.5.2 são utilizados para quantificar a diferença entre os resultados das simulações e os dados medidos pelas Estações meteorológicas na região.

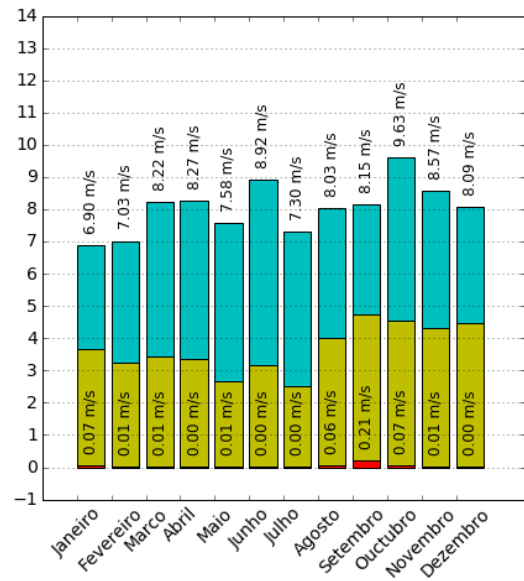
Nesta secção são apresentados os resultados dos testes realizados, agrupados em gráficos de tipo gol (pelo desenho que parece a um gol de futebol) (USEPA, 2014), onde a linha continua (verde) representa os limites estabelecidos pelo Emery et al. (2001) e a linha não continua (vermelha) as faixas de variação das métricas dos parâmetros. O Anexo A apresenta tabelas com os valores numéricos dos indicadores estatísticos para cada simulação

#### **i Velocidade do vento**

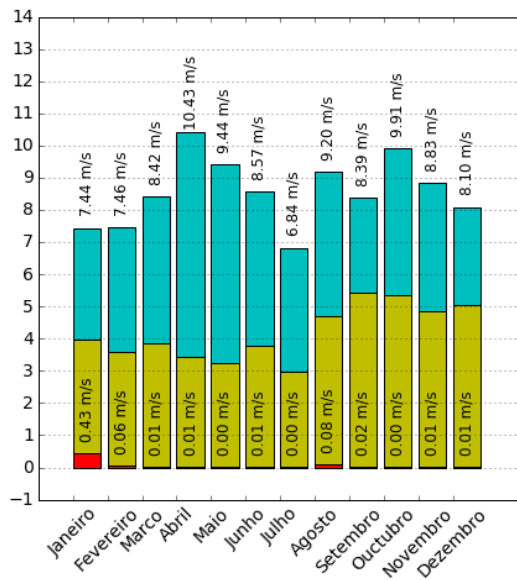
A Figura 25 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para velocidade do vento para todas as estações de monitoramento da RGV. Pode-se observar que, de maneira ge-



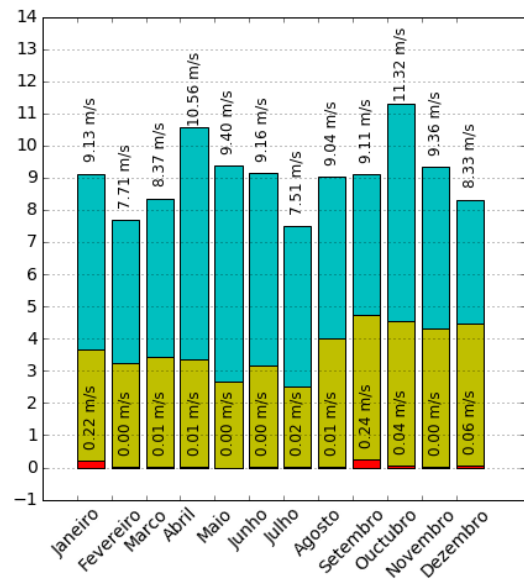
(a - USGS)



(a - NOVOS)



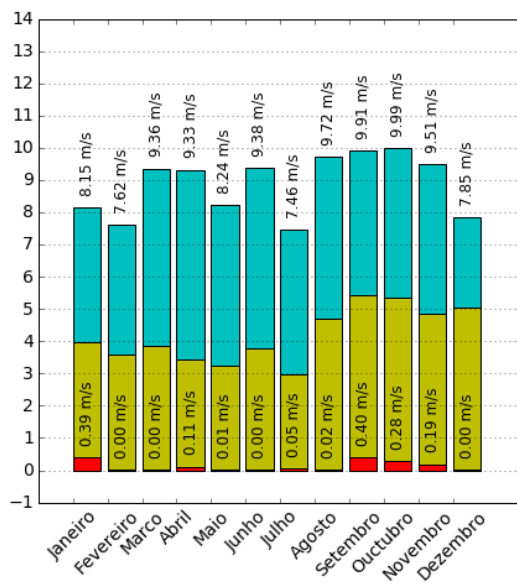
(b - USGS)



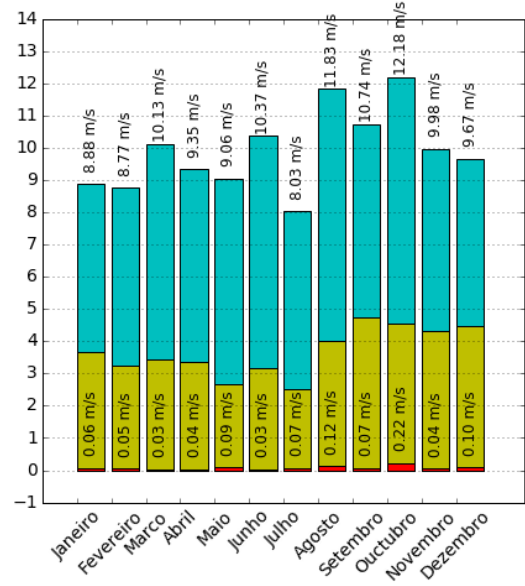
(b - NOVOS)

Figura 24: Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

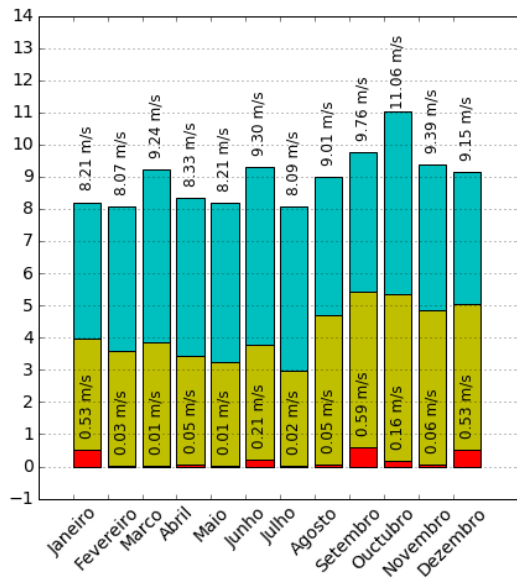
ral, ambas as simulações apresentam dados com precisão comparável aos resultados obtidos por outros autores (dentro da linha não contínua vermelha). As simulações com dados NOVOS apresentam melhores resultados para estações Aeroporto e Carapina, enquanto a com dados USGS apresenta melhores resultados para Enseada do Suá e Ibes. Em Cariacica os resultados são equivalentes.



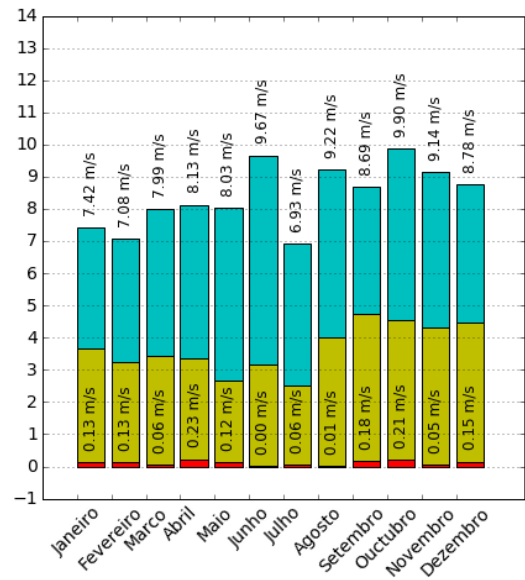
(c - USGS)



(c - NOVOS)



(d - USGS)



(d - NOVOS)

Figura 24 (Cont.): Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibés e e) Cariacica

É importante enfatizar que a estação de monitoramento do Aeroporto é mais adequada para medição das variáveis meteorológicas da região, sendo a única que está de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Meteorologia e não possui nenhuma edificação ou vegetação alta nas imediações. As outras estações estão incluídas na malha urbana, com grande proximidade de edificações e vegetação elevada (árvores). Desta forma, espera-se que os resultados do modelo tenham maior concor-

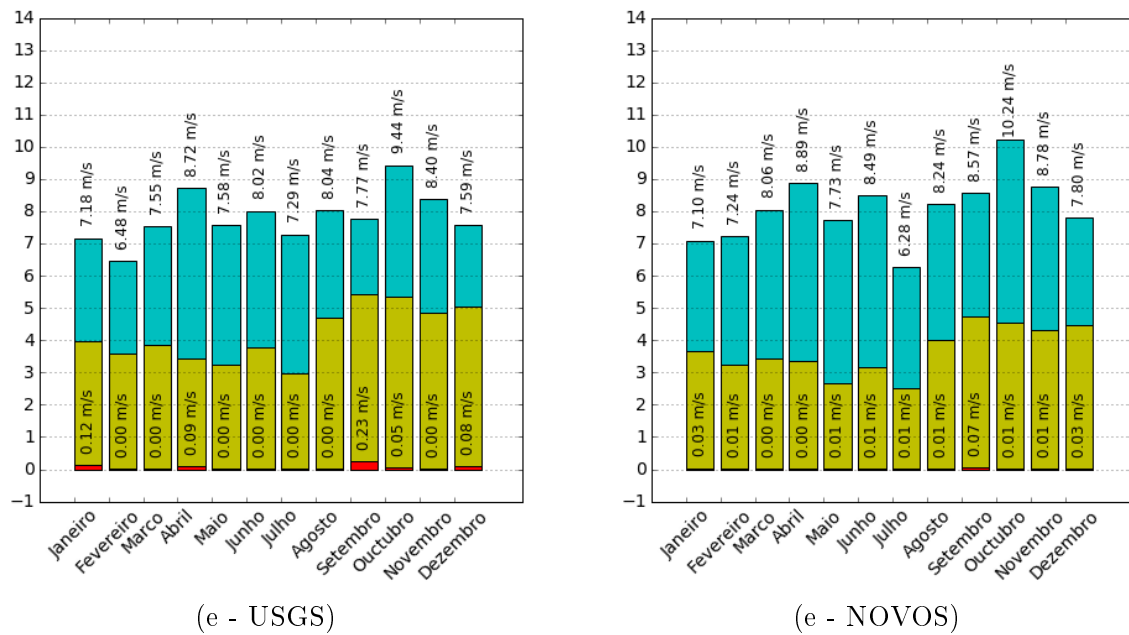


Figura 24 (Cont.): Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibés e e) Cariacica

dância com os dados da estação do Aeroporto. Na estação Aeroporto dois meses da simulação com dados NOVOS chegam a ficar com a precisão dentro da faixa apontada por (EMERY et al., 2001), enquanto que os dados USGS não apontam nenhum mês dentro da faixa.

A estação que normalmente apresenta maiores desvios em relação a modelos meteorológicos e de qualidade do ar é a estação de Carapina, que está localizada em uma clareira aberta em uma região de vegetação elevada (Santiago, 2015). Os resultados obtidos por ambas simulações são muito fracos, com leve melhora para os resultados obtidos com dados NOVOS.

Especificamente na estação da Enseada do Suá, os indicadores estatísticos das simulações com dados USGS ficam fora da faixa dos trabalhos de outros autores apenas em 4 meses do ano, enquanto as simulações com dados NOVOS ficam 6 meses fora. De fato, as simulações com dados novos tendem a ser melhores nos primeiros 6 meses do ano, apresentando piora significativa nos demais meses. Entretanto, a causa destes desvios não está suficientemente clara com base nos dados apresentados aqui, principalmente pela influência das perturbações de edificações nesta estação.



As alterações nas métricas estatísticas para a velocidade do vento podem ser devido ao aumento da resolução topográfica principalmente, que segundo o Lupascu et al. (2015) geralmente a modelagem com resolução topográfica maior melhora a maioria dos parâmetros da previsão menos para a umidade relativa. Que ajudado com a alta resolução do uso e ocupação do solo pode ter influência na melhora da previsão, o Lupascu et al. (2015) o incremento da resolução topográfica sozinho não é suficiente para melhorar significativamente o desempenho da modelagem, assim, o (JEE; KIM, 2016) argumenta que fazendo uso de conjunto de dados geográficos de alta resolução melhora a circulação atmosférica em uma megacidade e que a modelagem com escala mais fina é sensível à resolução desta.

As superestimações das simulações da velocidade do vento podem-se dever ao fato da existência de topografia que não consegue-se representar de forma correta. Já que segundo (GÓMEZ-NAVARRO et al., 2015) a falta representação da topográfica bem definida conduz à superestimação geral da velocidade do vento.

## ii Direção do vento

A Figura 26 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para direção vento para todas as estações de monitoramento da RGV. De maneira geral, pode-se observar que ambas as simulações apresentam dados com precisão comparável aos resultados obtidos por outros autores (dentro da linha não contínua vermelha). As simulações com dados NOVOS apresentam iguais ou superiores às simulações com dados USGS. As diferenças mais marcantes podem ser observadas para a estação do Ibes, onde os resultados da simulação com dados NOVOS apresenta menos MAGE em praticamente todas os meses e com mais resultados na faixa de precisão recomendadas por Emery et al. (2001) – 6 meses contra apenas 3 meses.

A Figura 34 em Anexos apresenta as rosas dos ventos. Onde a pode-se ver que quando é utilizado o NOVOS comparado com o USGS este diminui a superestimação da velocidade do vento. Para a maior parte do ano ambos (USGS e NOVOS) tem boa concordância na previsão da direção do vento, mas nos meses do inverno estes mostram a chegada de vento de vale (oeste). Indicando que a dispersão de contaminantes atmosféricos seriam numa direção diferentes à real, podendo provocar erros nas previsões de modelos de dispersão atmosférica.

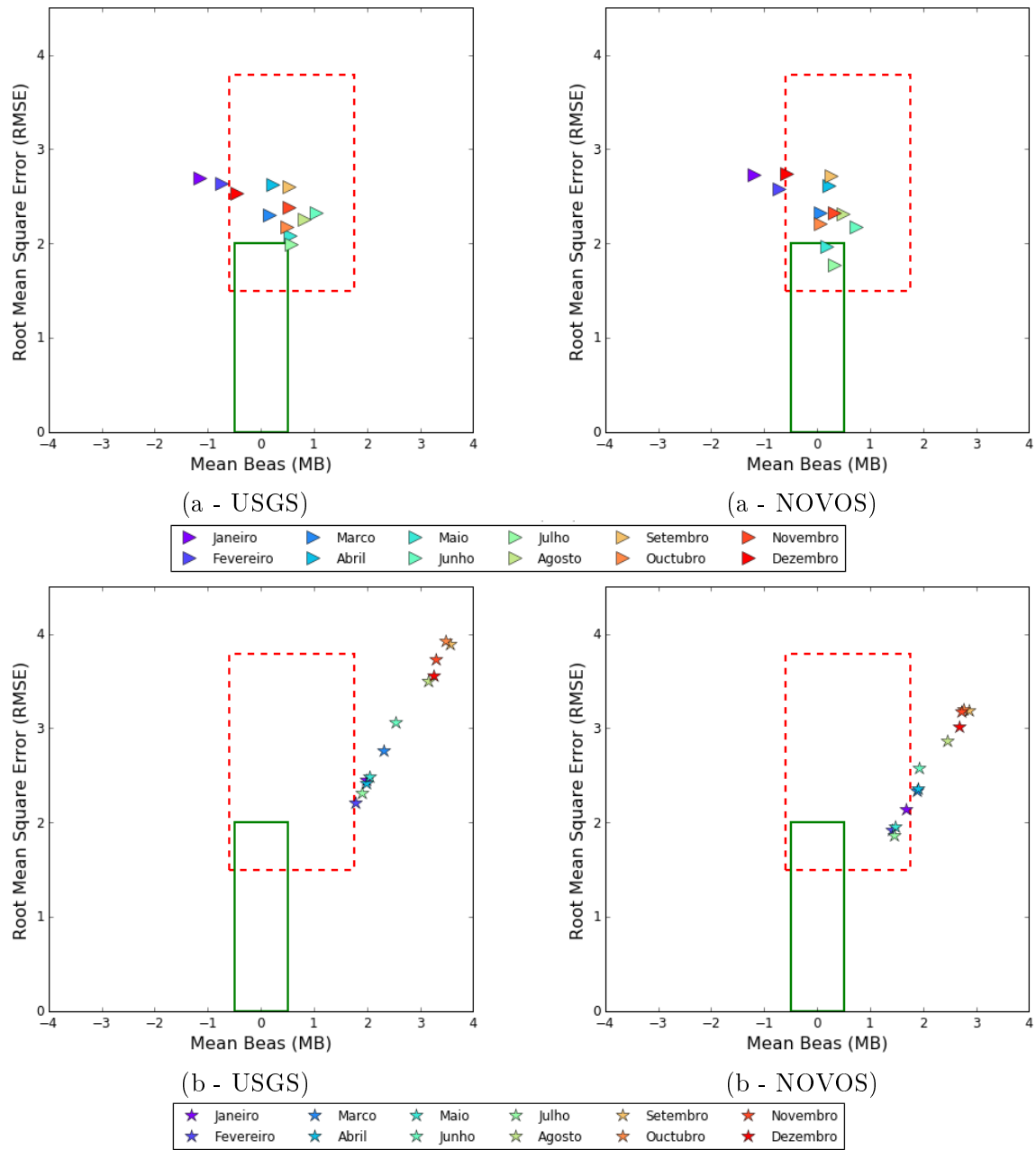


Figura 25: Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

Isto pode-se dever ao fato que o WRF foi criado para fazer previsões de mesoescala para a região norte. Além disso, a parametrização das camadas do solo e a radiação solar poderiam influenciar nestas previsões.

### iii Temperatura

A Figura 27 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para temperatura para todas

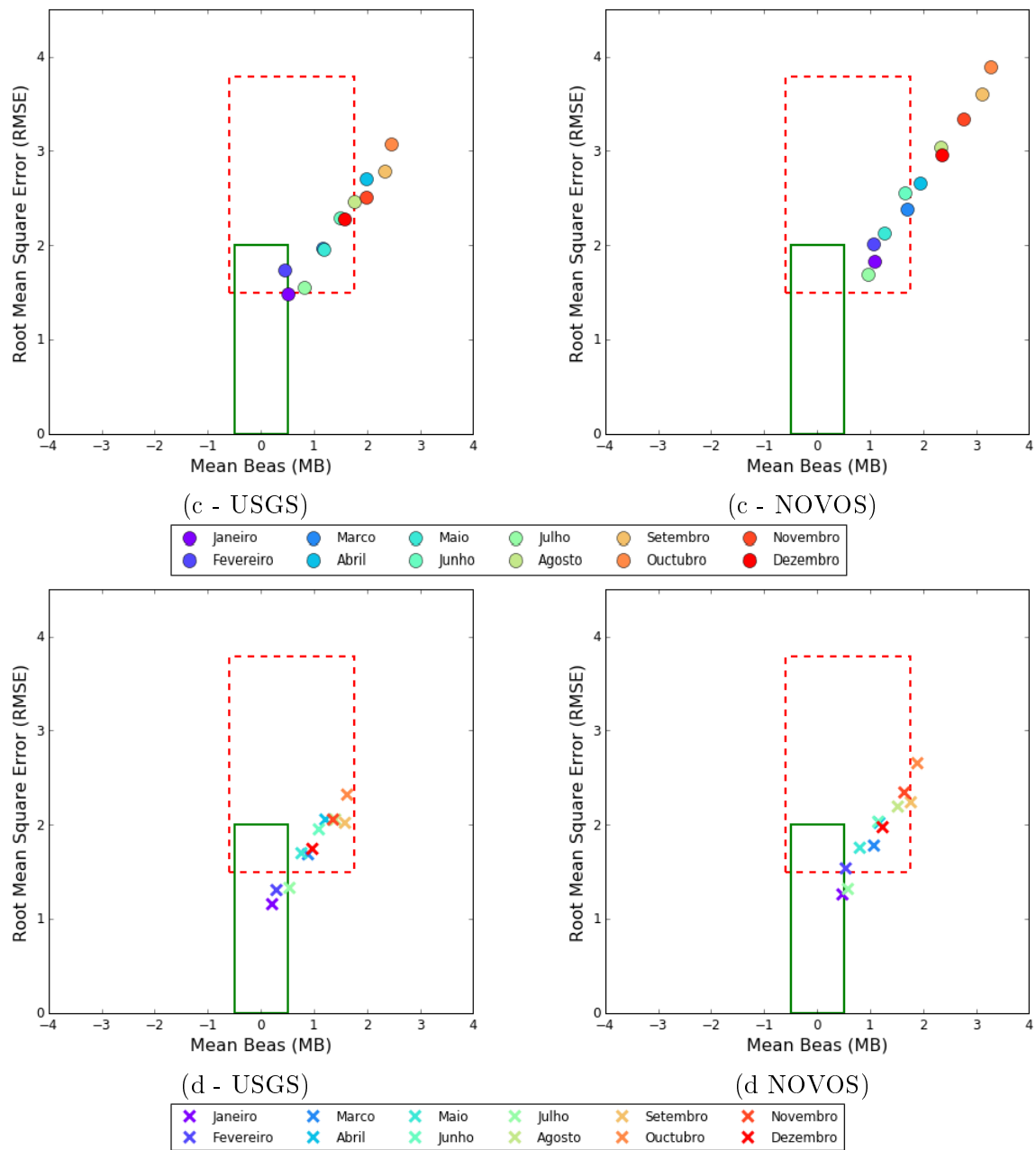


Figura 25 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

as estações de monitoramento da RGV. Enquanto os resultados para o Aeroporto são melhores para a simulação com dados NOVOS, os resultados de Carapina são significativamente piores. Para a estação de Cariacica os resultados são bastante similares.

Os resultados obtidos são produto do incremento da resolução morfológica e antropo-

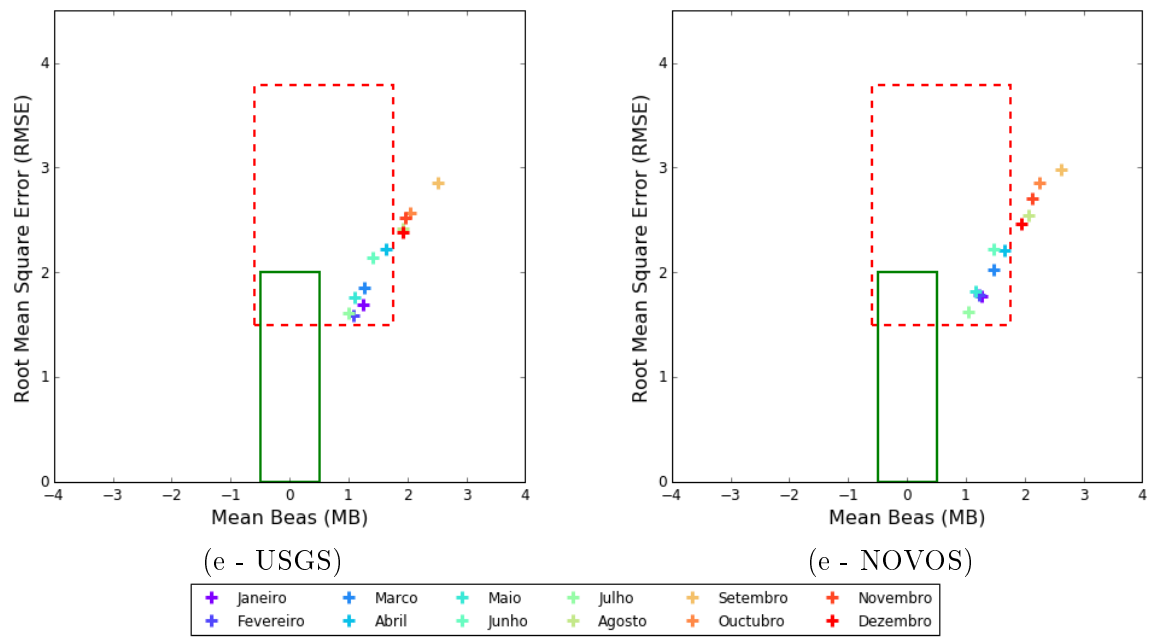


Figura 25 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

gênico das, áreas metropolitanas têm influência nos fluxos de vento e geração de ilhas de calor, também impactam na precipitação e consequentemente na qualidade do ar (CHEN et al., 2009; CHEN et al., 2007). Contudo, a utilização do uso da cobertura do solo mais acurada de origem MODIS na modelagem com o WRF, mostraram melhora significativa para as previsões especialmente nas estações chuvosas (SINGH et al., 2015). A melhora dos mapas que mostram a influência de fatores urbanos na temperatura superficial do ar. O que segundo Cheng et al. (2010) comparando as simulações com dados de uso e cobertura de solo apurados, com dados das Estações de monitoramento in-situ mostra que os parâmetros meteorológicos (velocidade e temperatura do vento) simulados, esta tendência de melhora pode ser observada aqui, principalmente no dados da estação do Aeroporto que possui menor obstrução por edificações e vegetação elevada.

Na maioria das regiões com topografia de alta resolução (NTWALI et al., 2016; CARDOSO et al., 2012; MA et al., 2014) e acompanhado de uso da terra influência na estrutura da camada limite atmosférica, além de trocas significativas estatisticamente para o fluxo do vento (TEIXEIRA et al., 2014). Podendo ser a causa do aumento na quantidade de precipitação mensal quando é utilizado o NOVOS. Por tanto, a simulação do vento ao nível

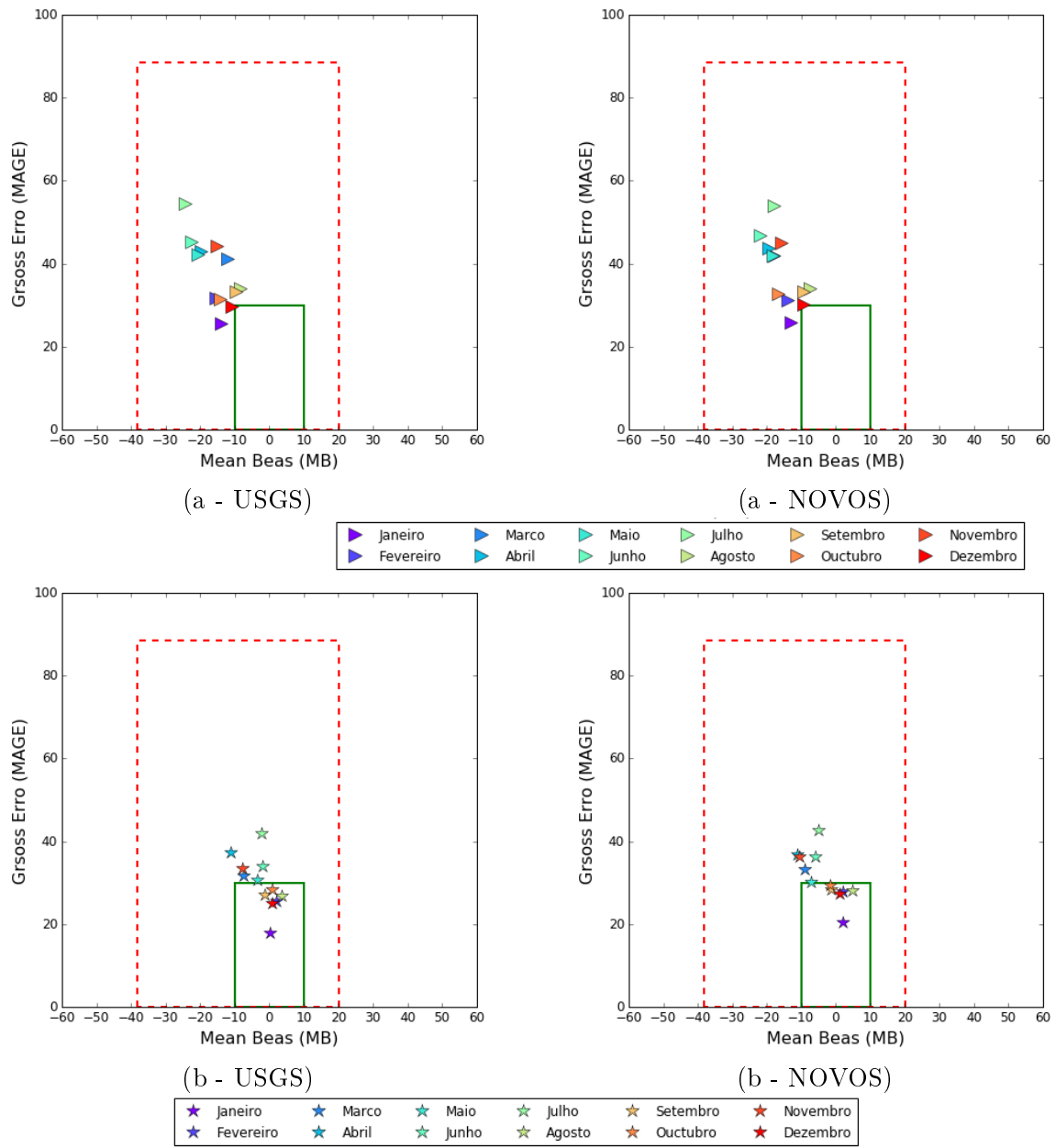


Figura 26: Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Cariacica

superficial sobre uma região topográfica complexa precisa de uma nova parametrização específica para este tipo de terreno. Tendo como resultado bias baixo; além disso é muito importante a seleção do conjunto de dados representativo para a avaliação do desempenho da modelagem (JIMÉNEZ; DUDHIA, 2012).

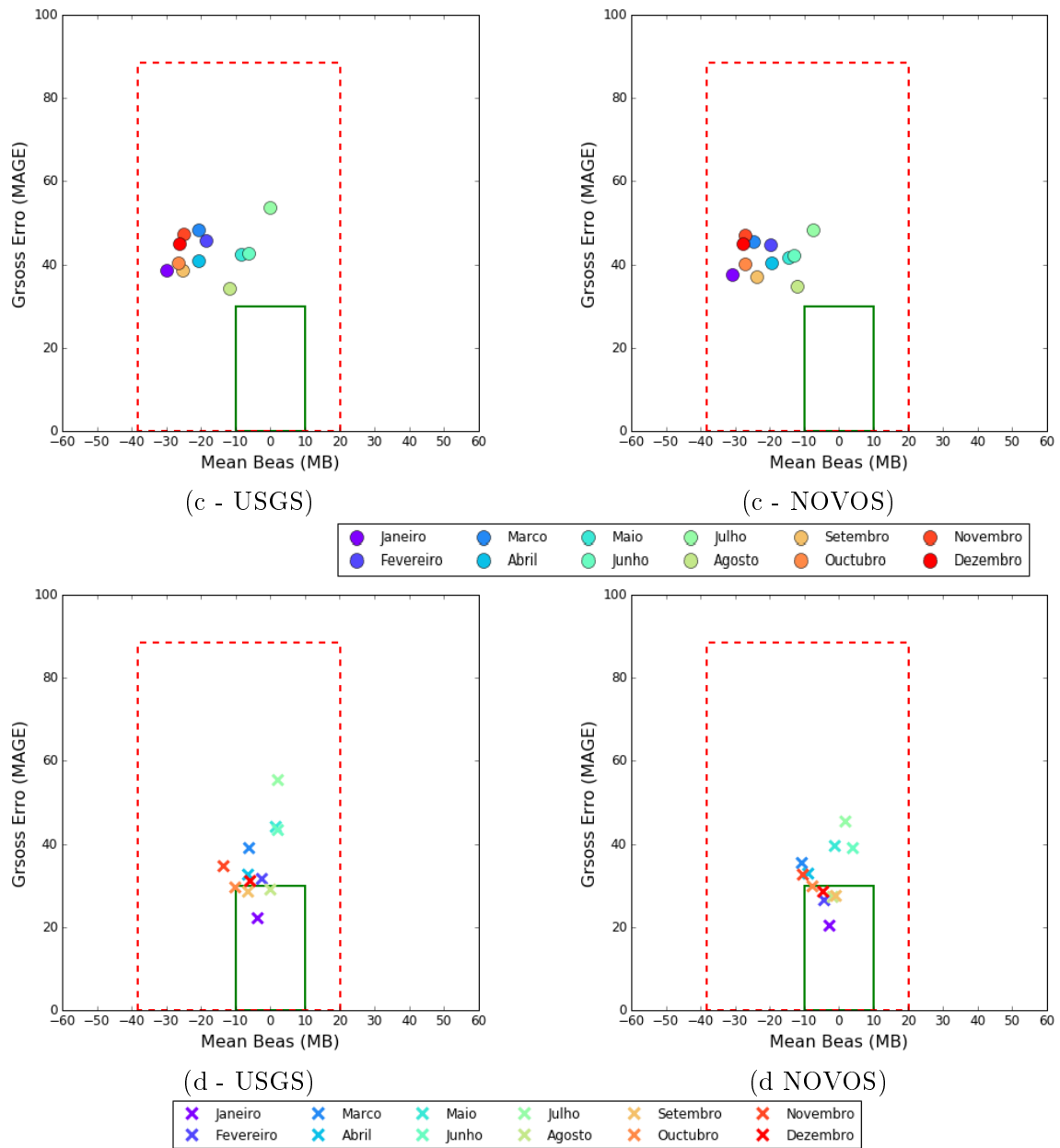


Figura 26 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Cariacica

## 5.2 Assimilação de dados

Analogamente à seção anterior, os resultados desta parte do trabalho serão apresentados em duas etapas. Primeiramente, serão discutidos efeitos do nudging sobre a simulação, comparando resultado sem nudging, resultados com a utilização de nudging somente no domínio d02 e resultados com a utilização de nudging nos domínios d01 e d02.

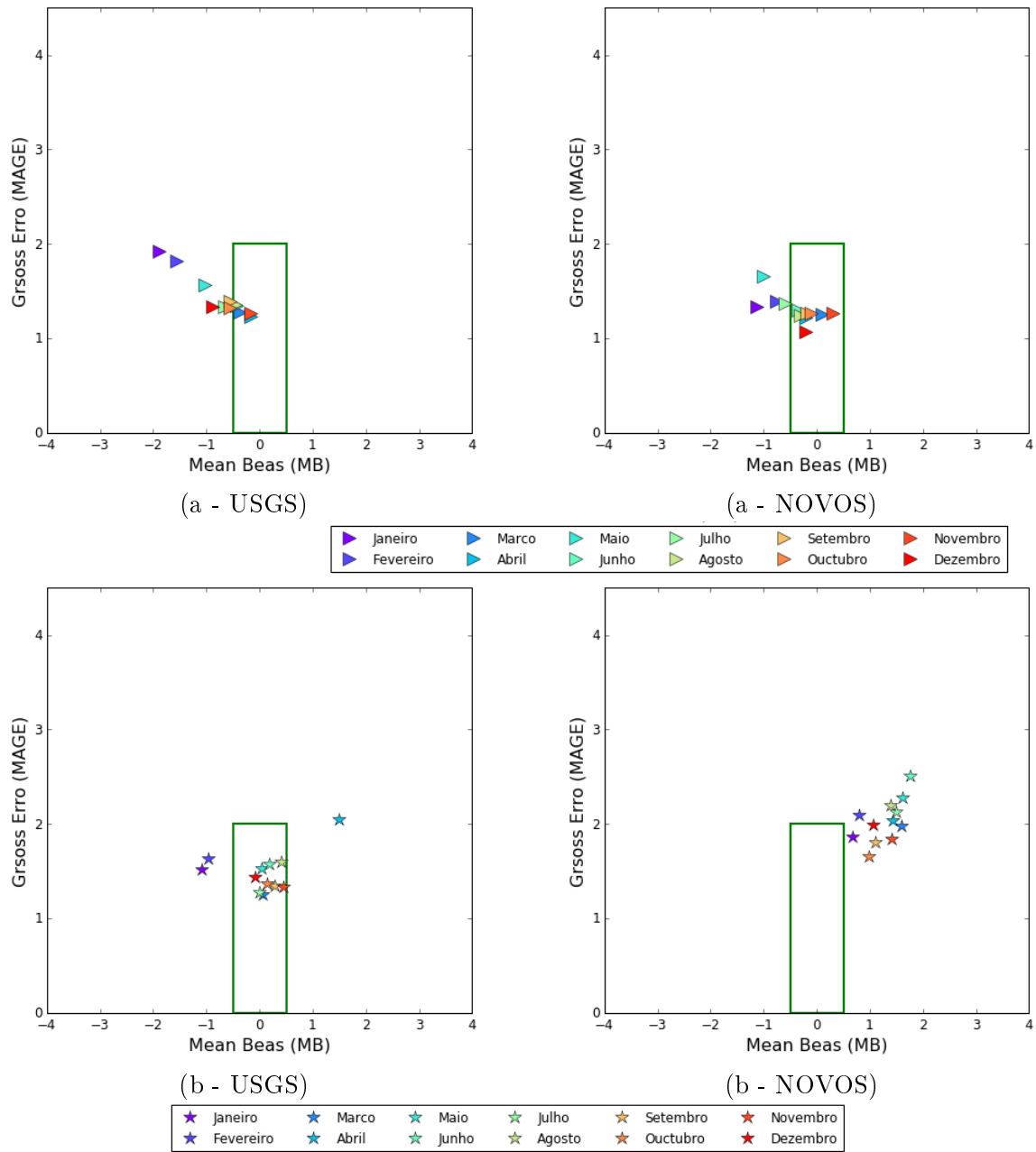


Figura 27: Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica

### 5.2.1 Efeito do *nudging* sobre os resultados das predições do modelo

Para ilustrar o efeito das atualizações de relevo e uso do solo, foi selecionado aleatoriamente o dia 10/07/2010. Comparando as bases de dados geográficos NOVOS para o domínio d02 vs d01 e d02, na primeira se descreve a velocidade do vento e na segunda a temperatura do ar.

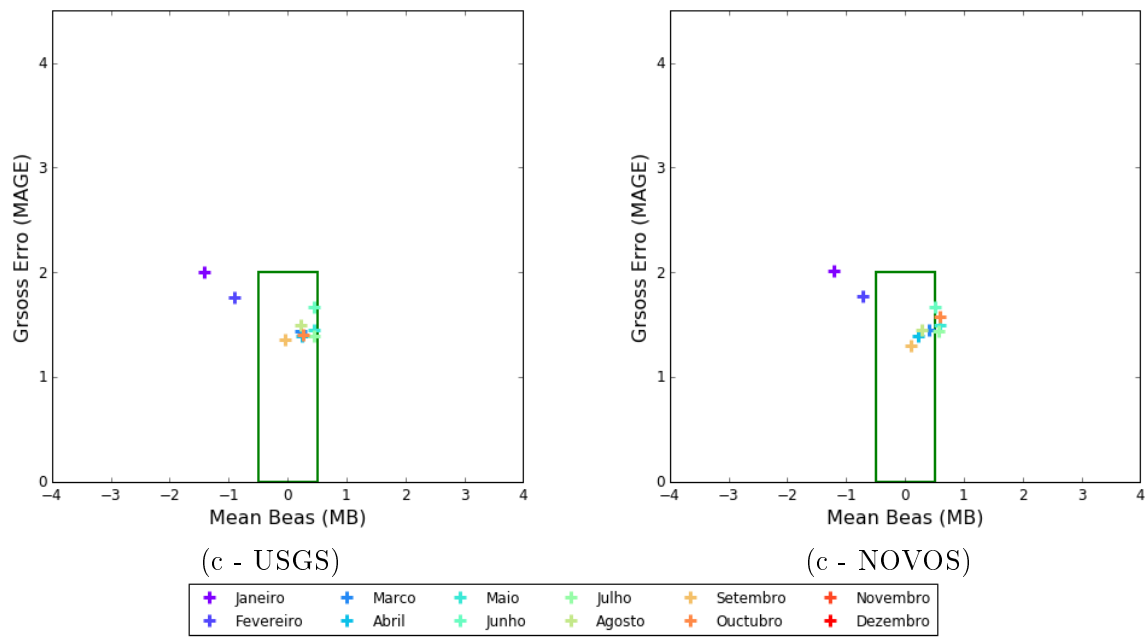


Figura 27 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica

#### 5.2.1.1 Temperatura do ar a 2m

A Figura 28 (Cont.) mostra os campos de temperatura obtidos com a utilização do nudging somente para d02 e com a utilização do nudging para d01 e d02. Pode-se observar que os resultados são bastante similares, podendo ser distinguidos apenas com base nos indicadores estatísticos explorados na próxima seção. Para permitir a avaliação do efeito do nudging é importante comparar estes resultados com os resultados sem nudging mostrados na seção anterior.

#### 5.2.1.2 velocidade do vento

As Figuras 29 (Cont.) mostram a diferença entre a simulação realizada com a assimilação de dados, afetando só o domínio d02 vs d01 e d02. Pode-se observar que os resultados são bastante similares, podendo ser distinguidos apenas com base nos indicadores estatísticos explorados na próxima seção. Para permitir a avaliação do efeito do nudging é importante comparar estes resultados com os resultados sem nudging mostrados na seção anterior.



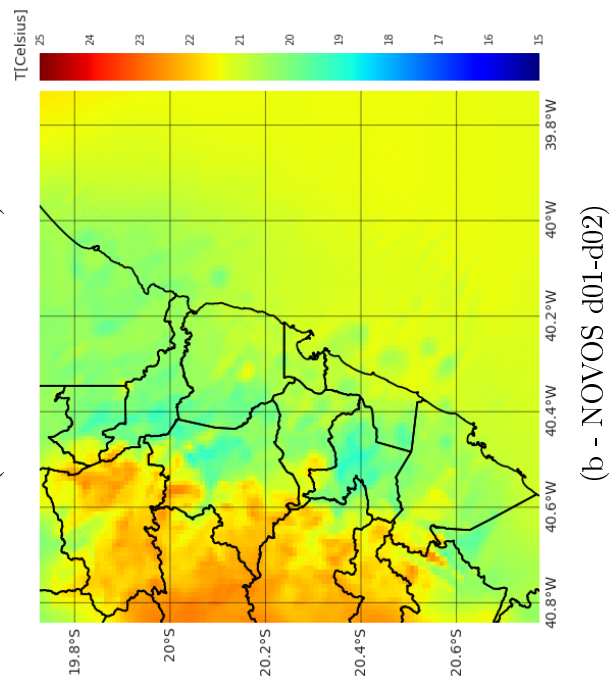
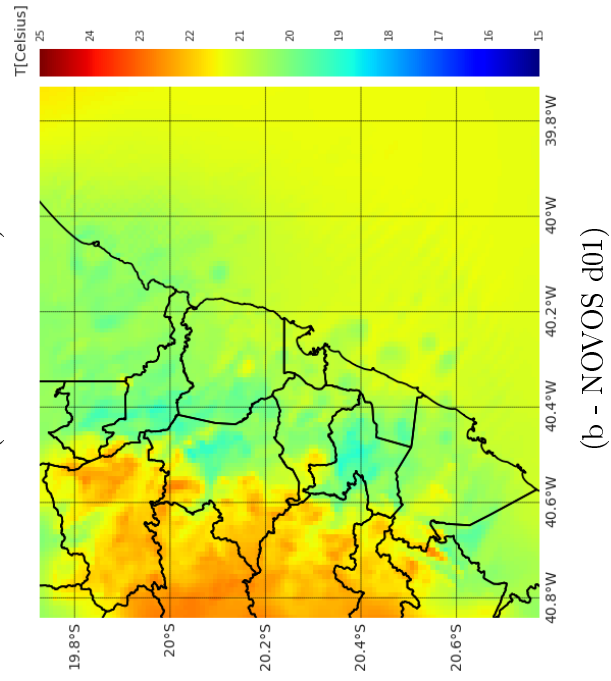
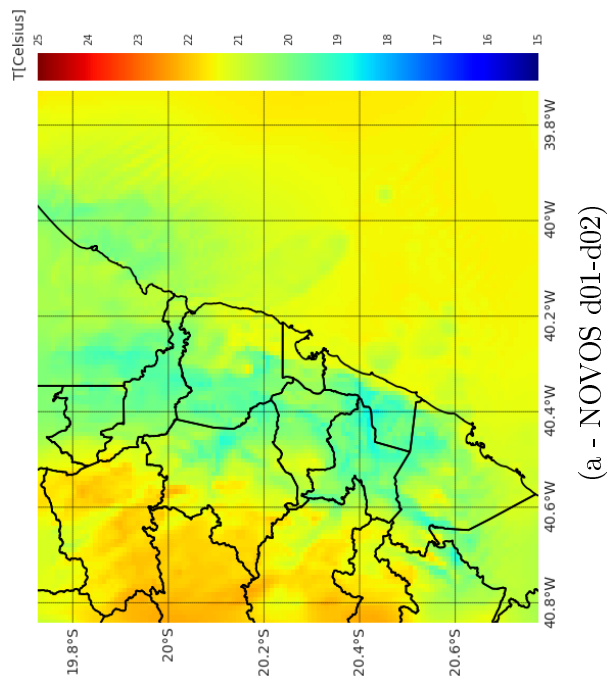
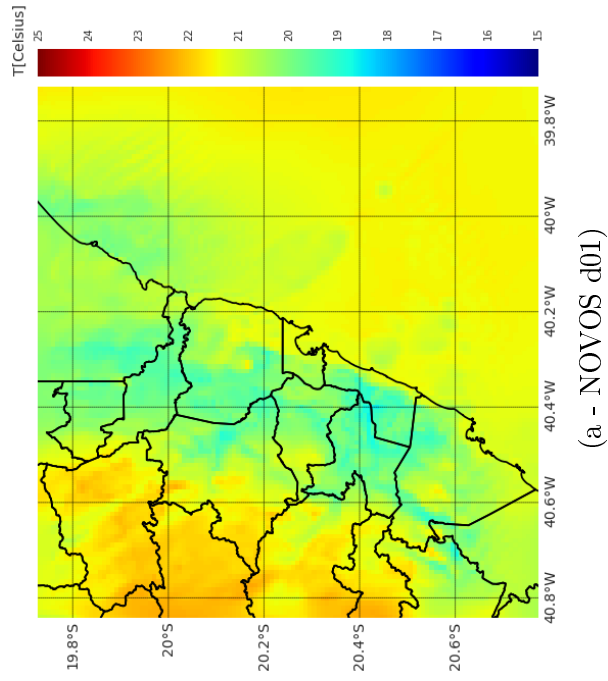
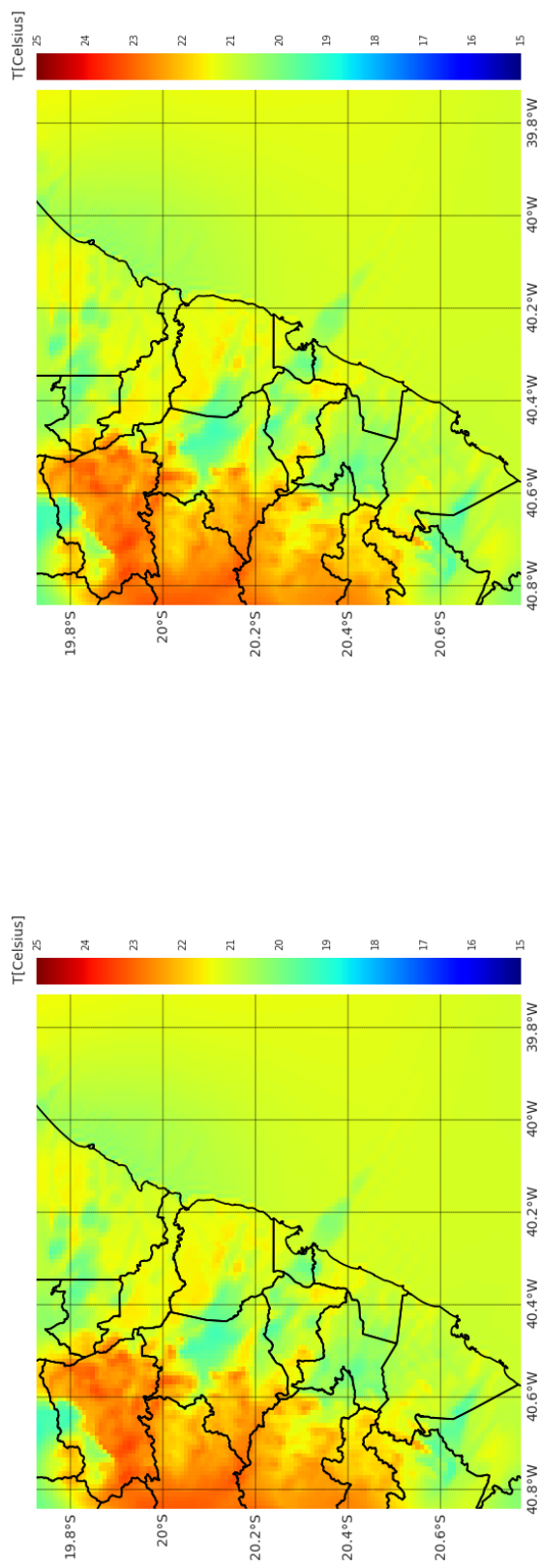
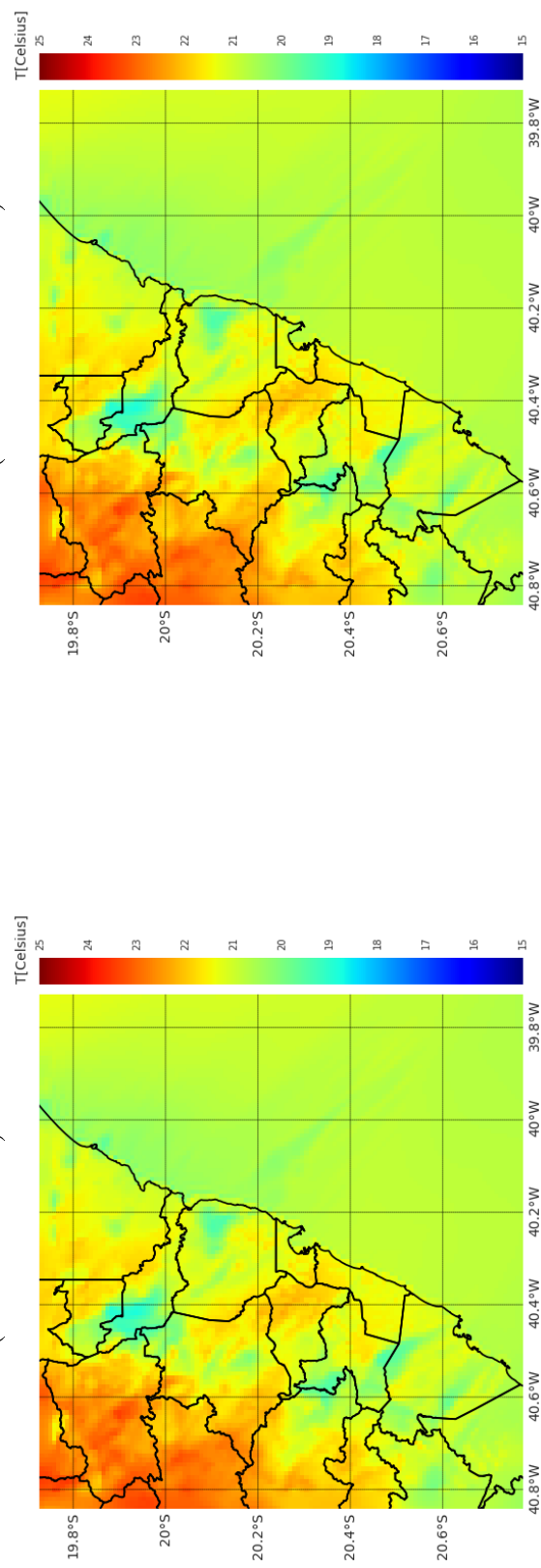


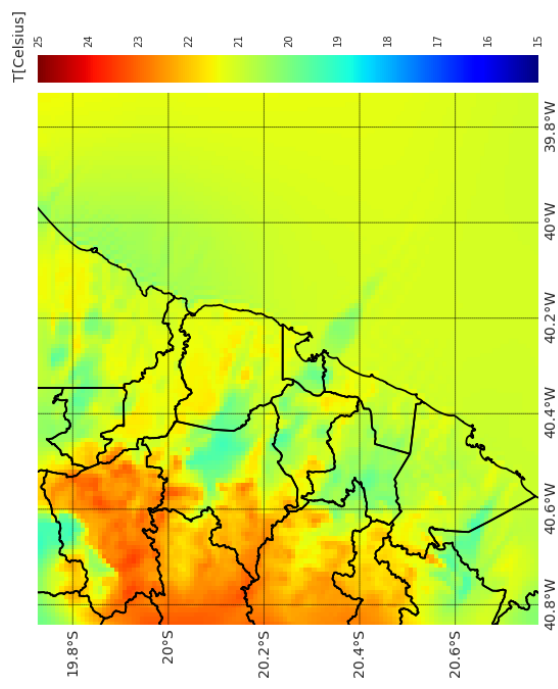
Figura 28: Campo da temperatura do ar a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010



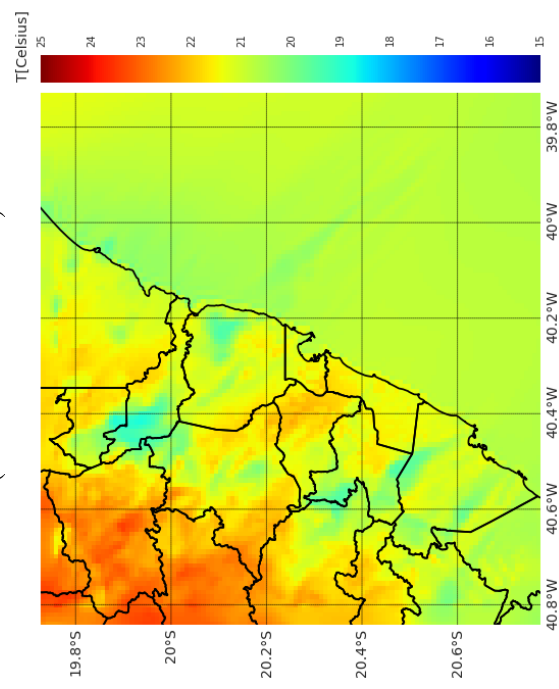
(c - NOVOS d01)



(d - NOVOS d01)

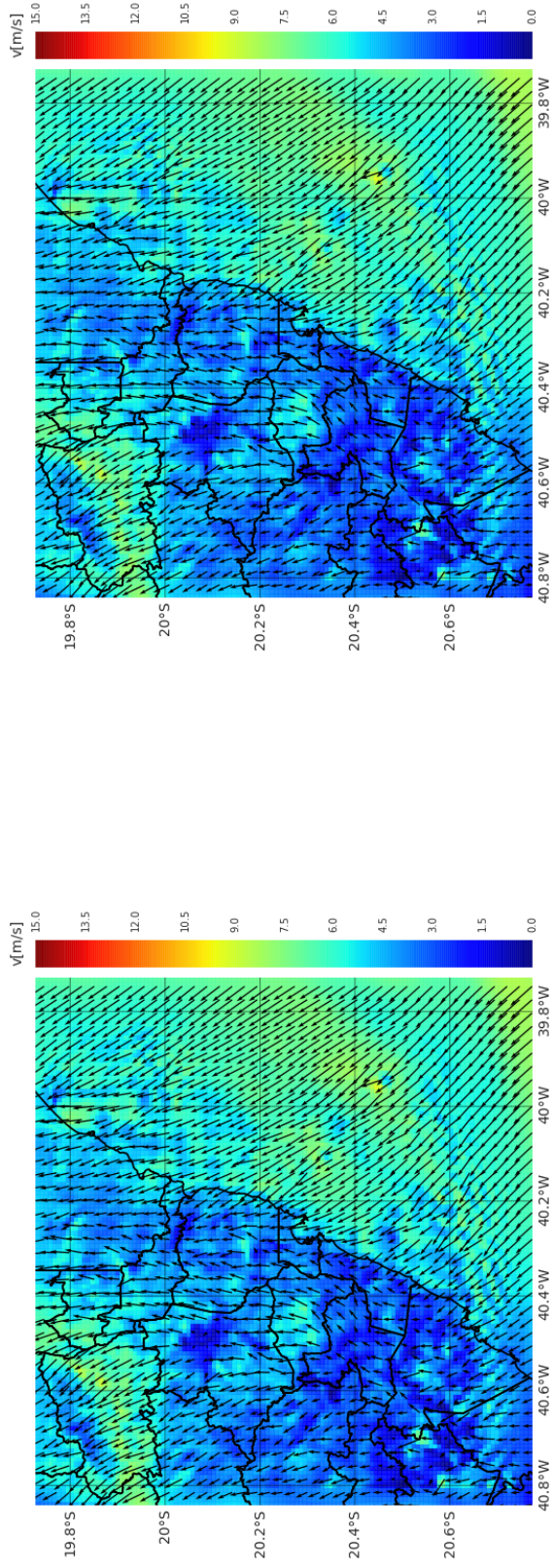


(c - NOVOS d01-d02)

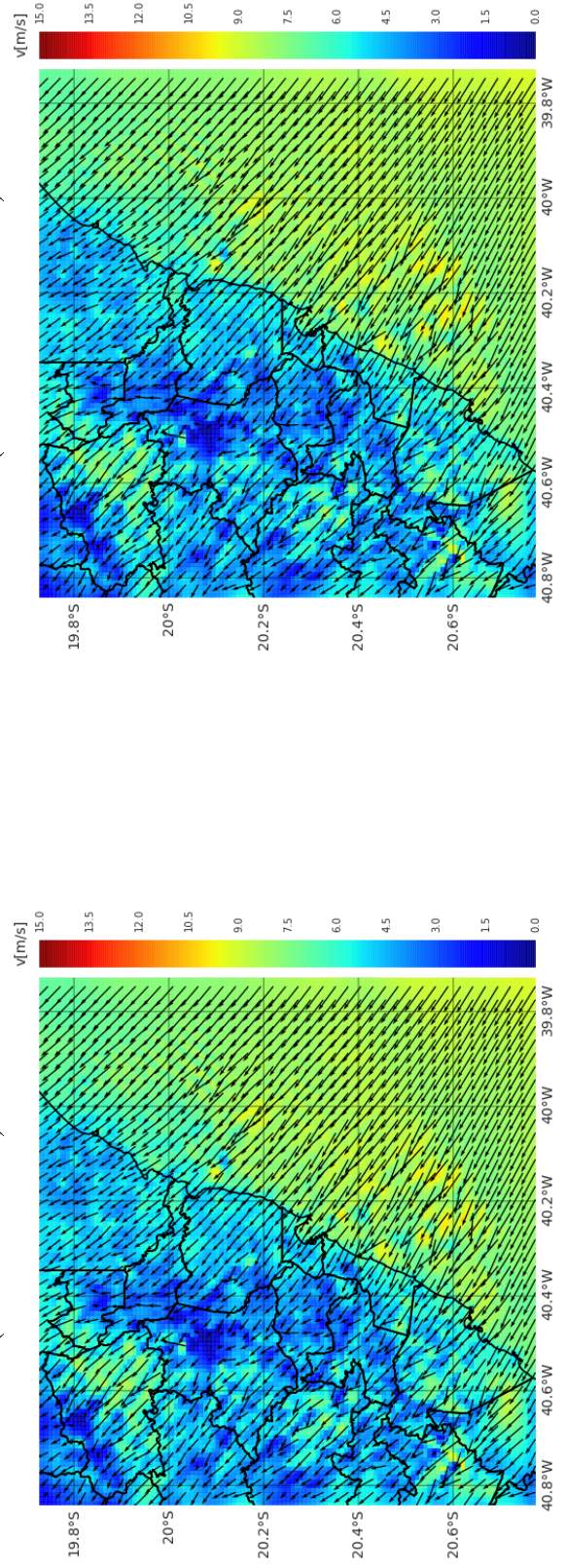


(d - NOVOS d01-d02)

Figura 28 (Cont.): Campo da temperatura do ar a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010



(a - NOVOS d01-d02)



(b - NOVOS d01-d02)

Figura 29: Campo da velocidade do vento a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c) 12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010



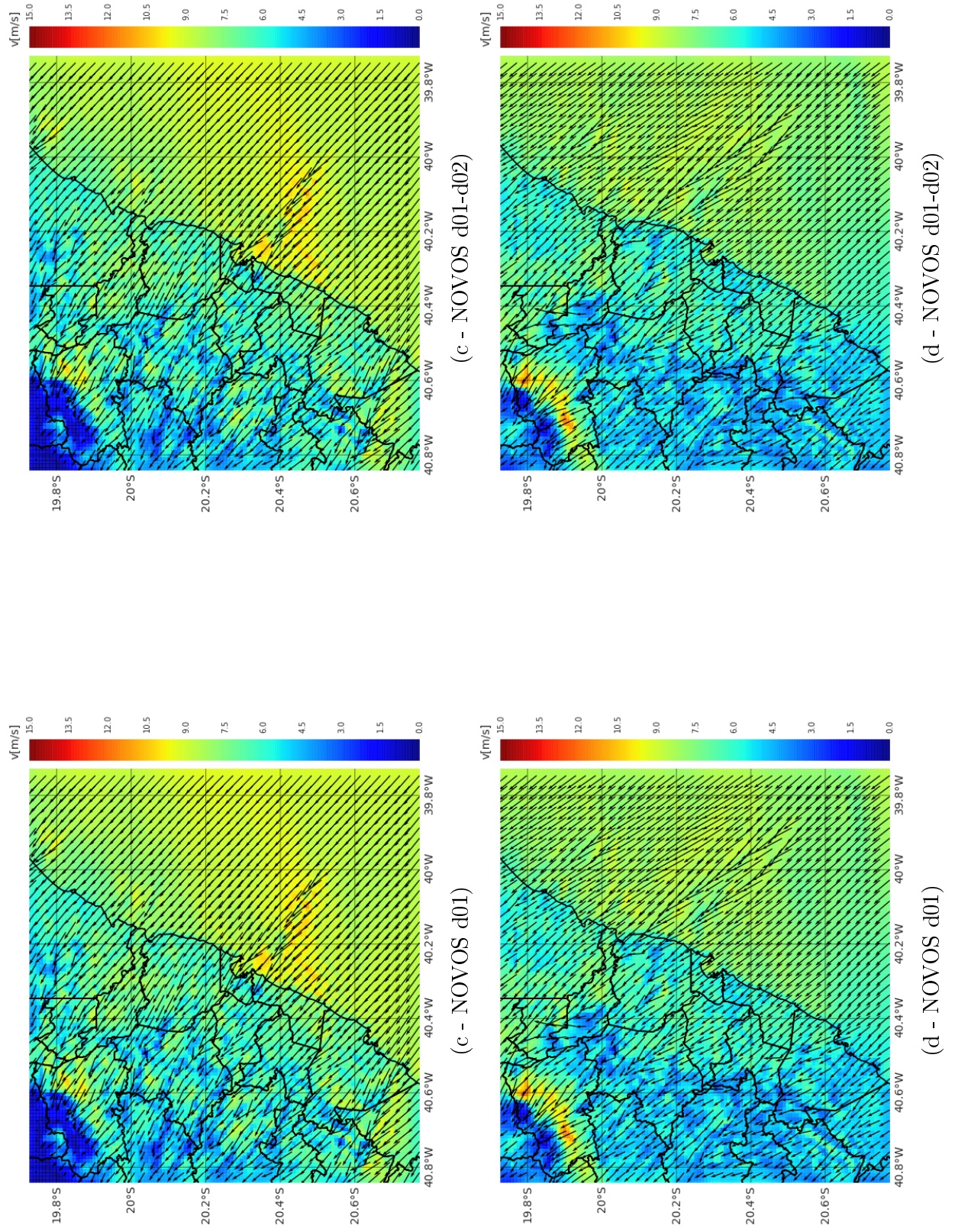
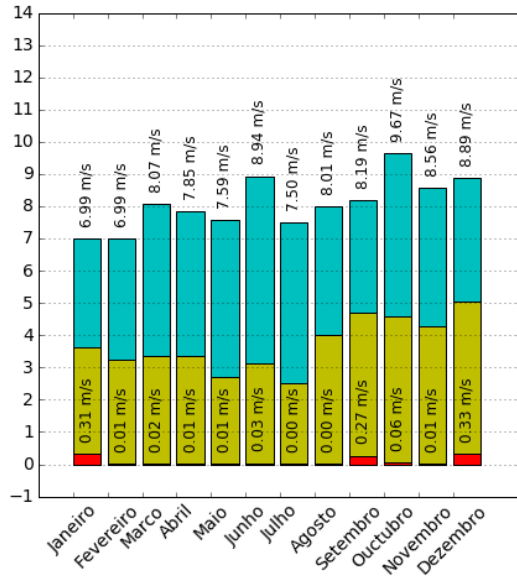
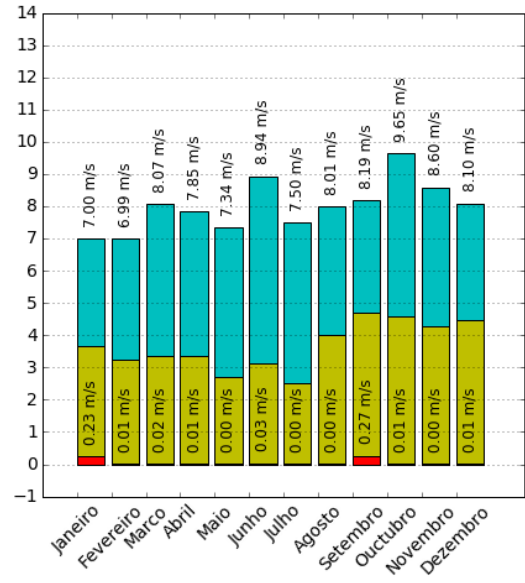


Figura 29 (Cont.): Campo da velocidade do vento a 2m para as a) 00 horas, b) 06 horas, c)12 horas e d) 18:00 horas do 17-07-2010

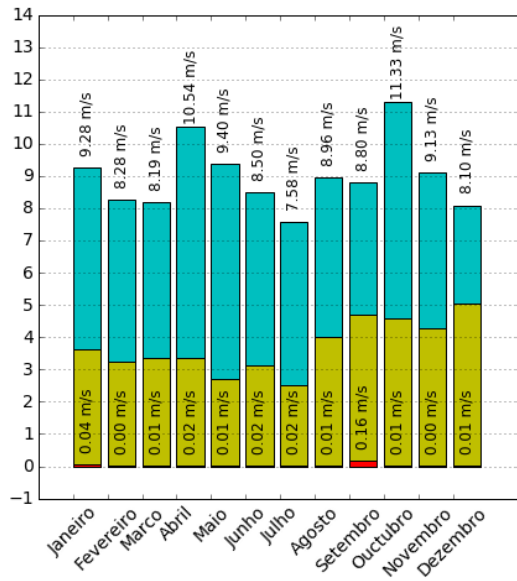
As alterações entre as simulações para a RGV podem ser melhor observadas na Figura 30 (Cont.), que mostra a média, mínima e máxima velocidade do vento para cada mês do ano na posição das estações de monitoramento. Com a influência do nudging.



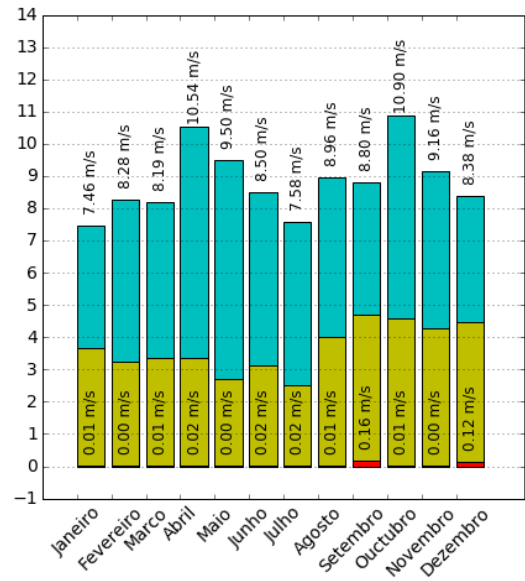
(a - NOVOS d01)



(a - NOVOS d01-d02)

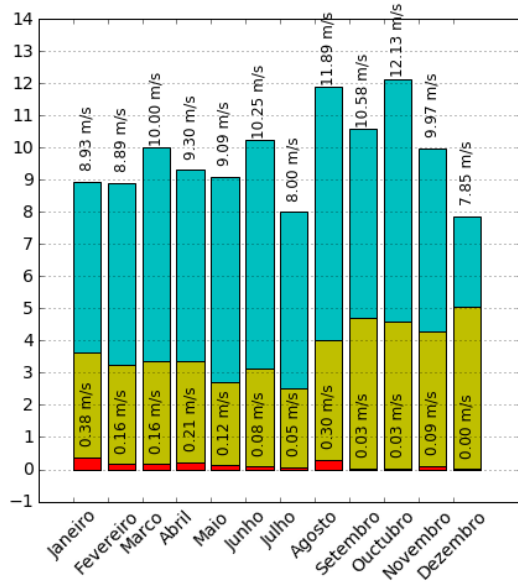


(b - NOVOS d01)

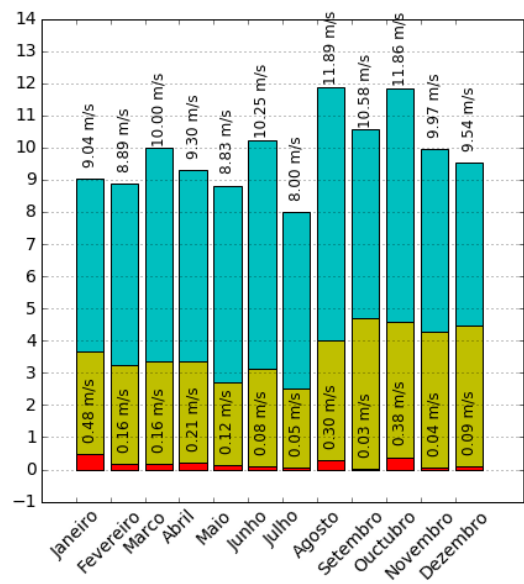


(b - NOVOS d01-d02)

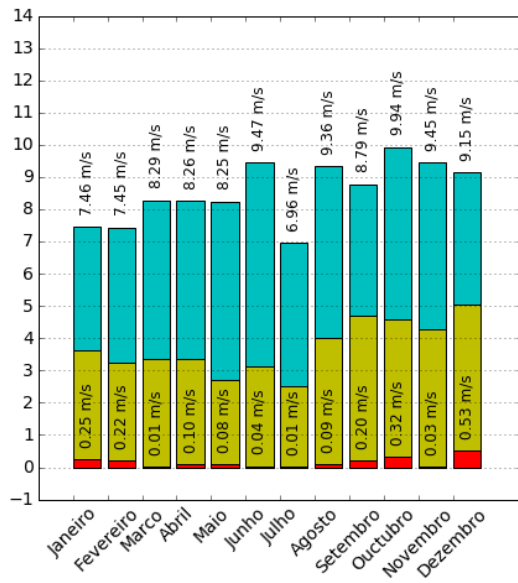
Figura 30: Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica



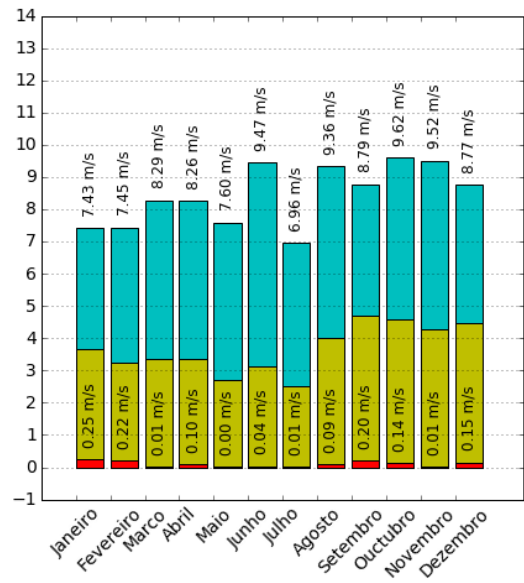
(c - NOVOS d01)



(c - NOVOS d01-d02)

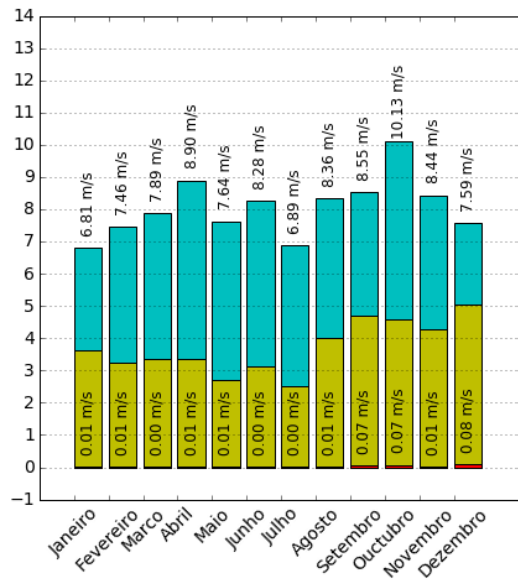


(d - NOVOS d01)

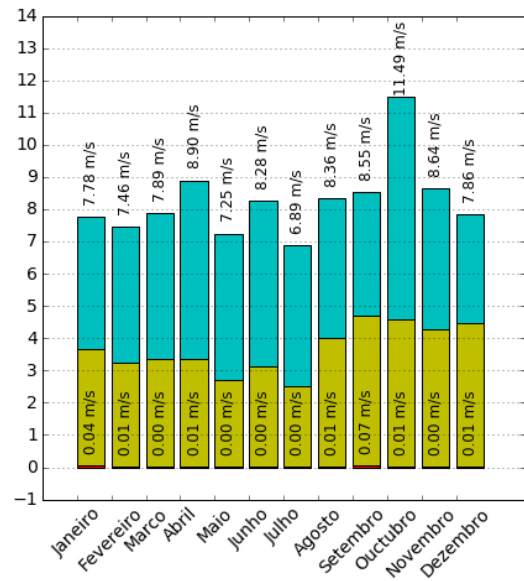


(d - NOVOS d01-d02)

Figura 30 (Cont.): Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica



(e - NOVOS d01)



(e - NOVOS d01-d02)

Figura 30 (Cont.): Máximos (verde) e Mínimos (vermelho) da Velocidade do vento modelados para todas as Estações, com a influência do nudging. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

## 5.2.2 Impacto sobre o desempenho do modelo

### i Velocidade do vento

A Figura 31 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para velocidade do vento com a utilização do nudging somente para d02 e com a utilização do nudging para d01 e d02, para todas as estações de monitoramento da RGV. Pode-se observar que os resultados são bastante similares, com poucas distinções. Para permitir a avaliação do efeito do nudging é importante comparar estes resultados com os resultados sem nudging mostrados na seção anterior. Pode-se observar que todos os resultados são bastante similares, com uma única diferença marcante que o valor mais elevado de MAGE para o mês de novembro em praticamente todas as estações com a utilização do nudging para d01 e d02. De maneira geral, observou-se uma pequena melhora nos indicadores, como na comparação com os dados da Enseada do Suá onde a simulação com a utilização do nudging somente para d02 apresentou mais um mês dentro da faixa tracejada em comparação com as outras simulações.

### ii Direção do vento

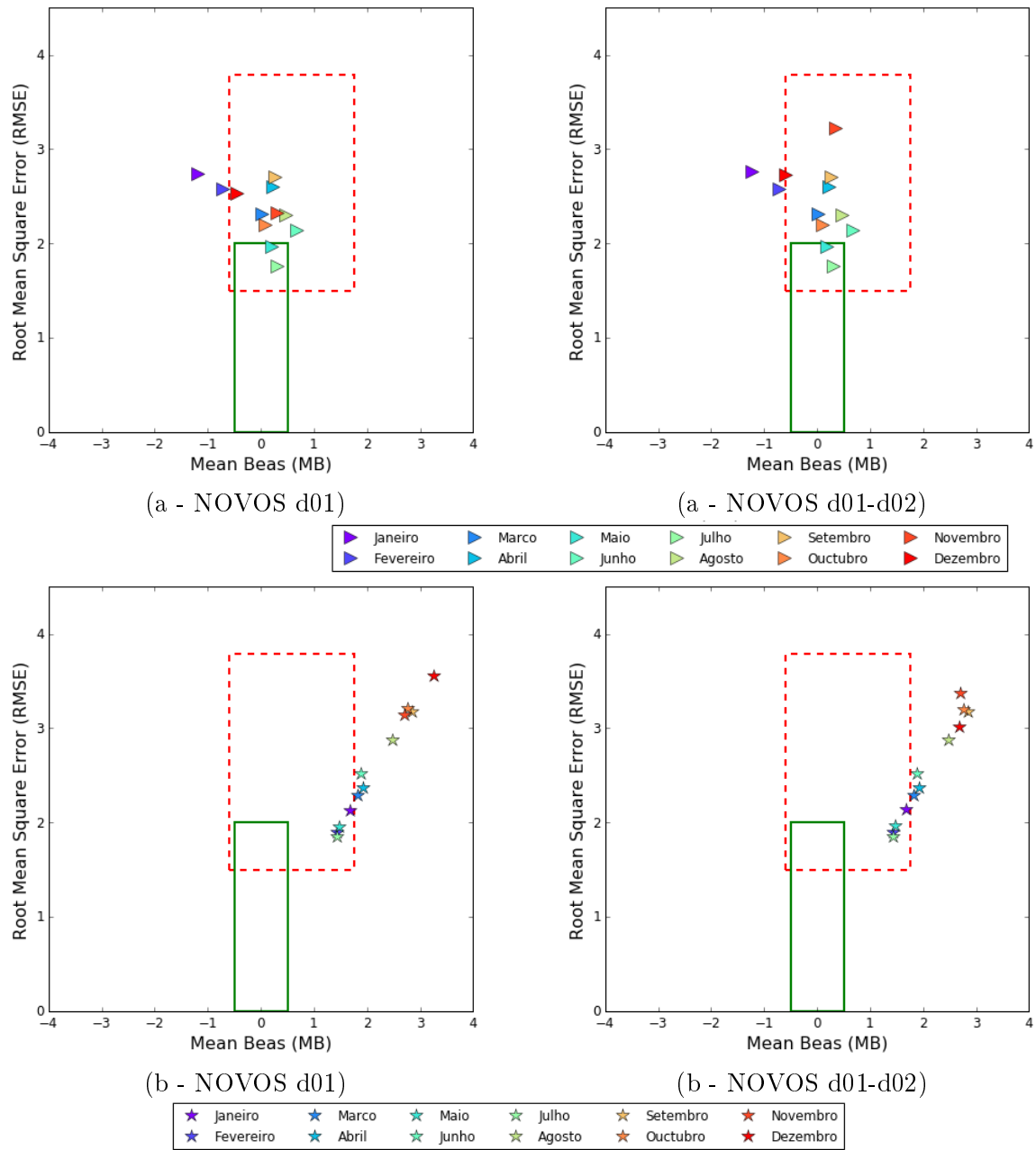


Figura 31: Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

Uma tendência similar pode ser observada na Figura 32 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para direção do vento com a utilização do nudging somente para d02 e com a utilização do nudging para d01 e d02, para todas as estações de monitoramento da RGV. Pode-se observar que todos os resultados são bastante similares, com uma



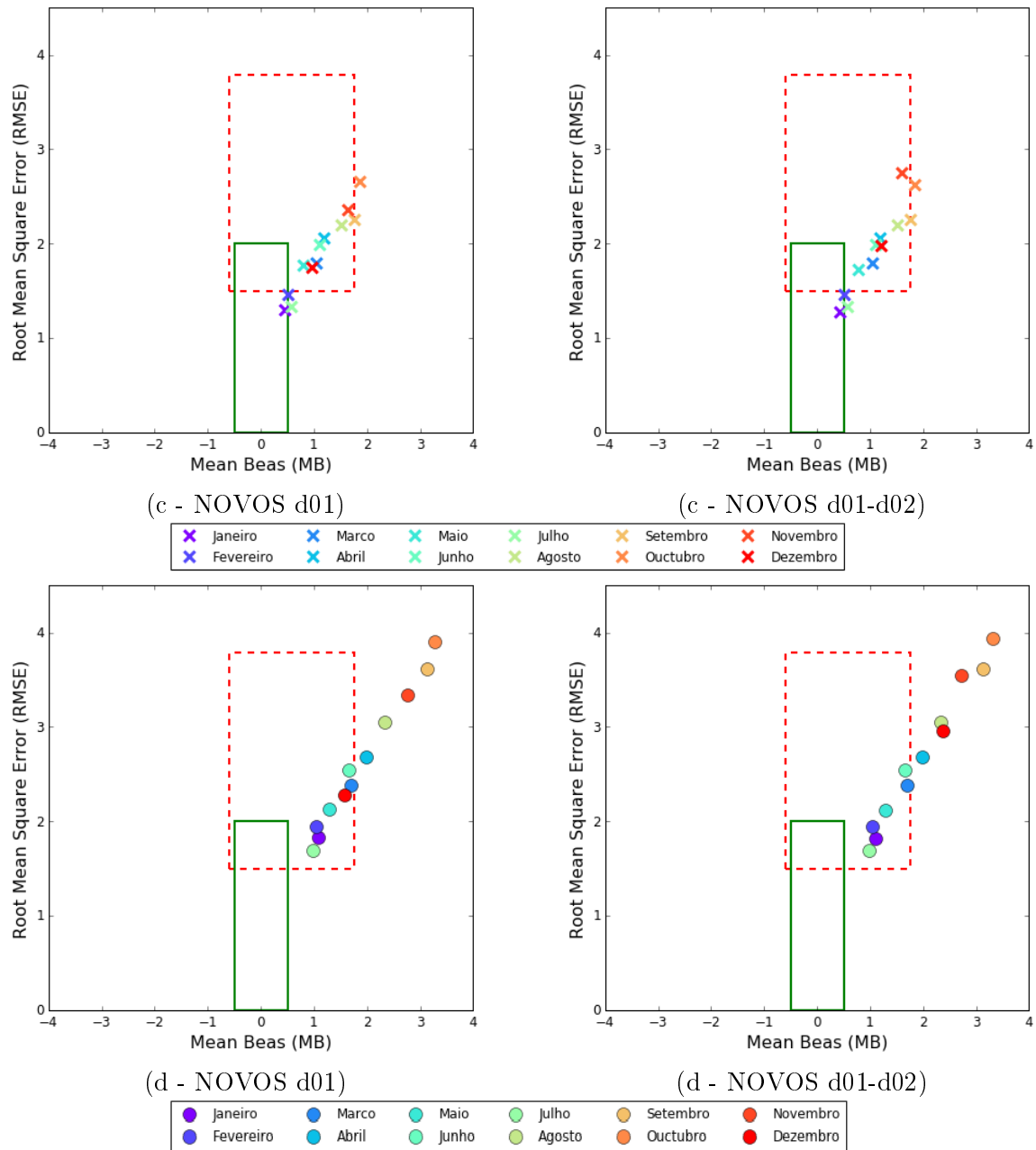


Figura 31 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibes e e) Cariacica

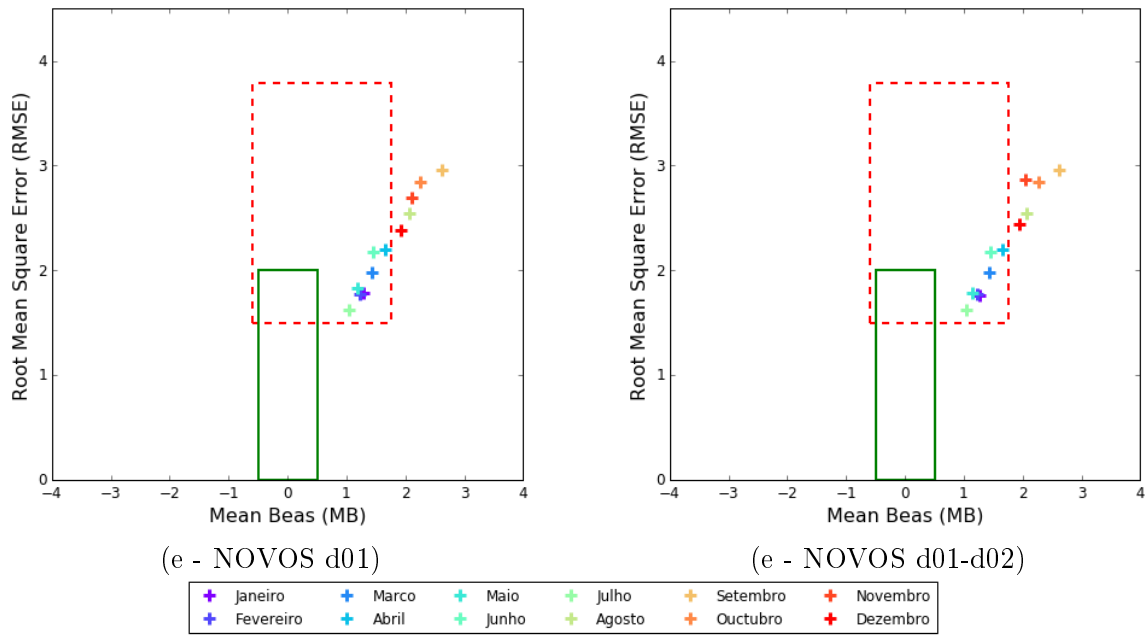


Figura 31 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da velocidade do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá, d) Ibés e e) Cariacica

única diferença marcante que o valor mais elevado de MAGE para o mês de novembro em praticamente todas as estações com a utilização do nudging para d01 e d02.

Na Figura 34 se mostra as rosas de vento para a Estação Aeroporto, na qual com a influência do nudging sobre o NOVOS para o domínio d02 da melhores resultados. Diminuindo as superestimações e ajustando melhor levemente a direção do vento.

### iii Temperatura

A Figura 33 (Cont.) mostra os indicadores estatísticos para temperatura com a utilização do nudging somente para d02 e com a utilização do nudging para d01 e d02, para todas as estações de monitoramento da RGV. Pode-se observar que todos os resultados são bastante similares, com uma única diferença marcante que o valor mais elevado de MAGE para o mês de novembro em praticamente todas as estações com a utilização do nudging para d01 e d02. Para estação de Carapina observou-se uma melhora expressiva para o mês de dezembro que ficou dentro da faixa de precisão proposta por Emery et al. (2001).

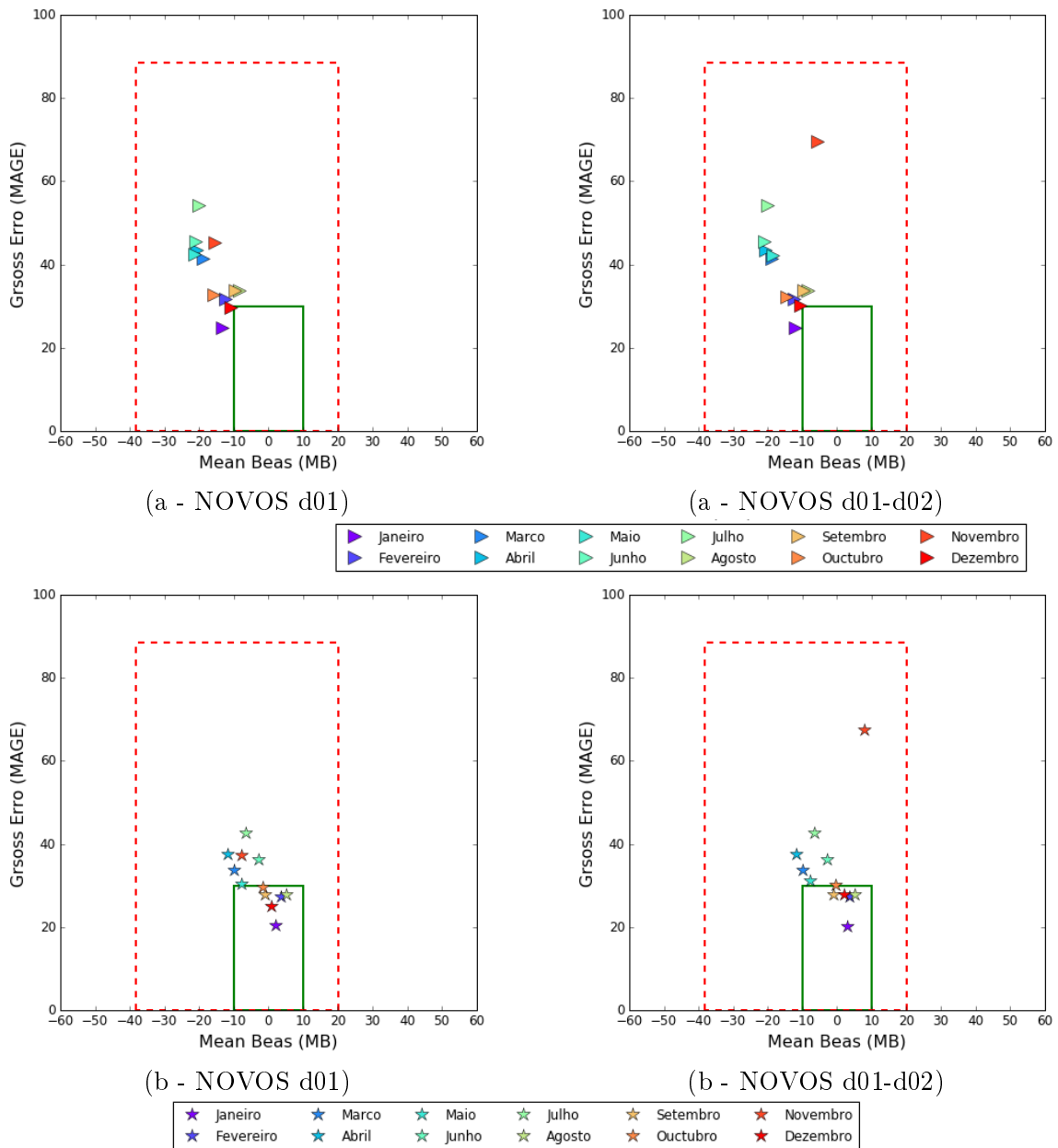


Figura 32: Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Ibes

### 5.2.3 Precipitação

Na Tabela 23 se a precipitação acumulada mensal para o ano 2010, sendo março o mês com mais precipitação acumulada e janeiro o menor. Já na modelagem com dados geográficos padrão USGS o desempenho é parecido embora quase em todos os meses esteja sobreestimando a chuva produzida, tendo a maior diferença no mês de abril e o menor em

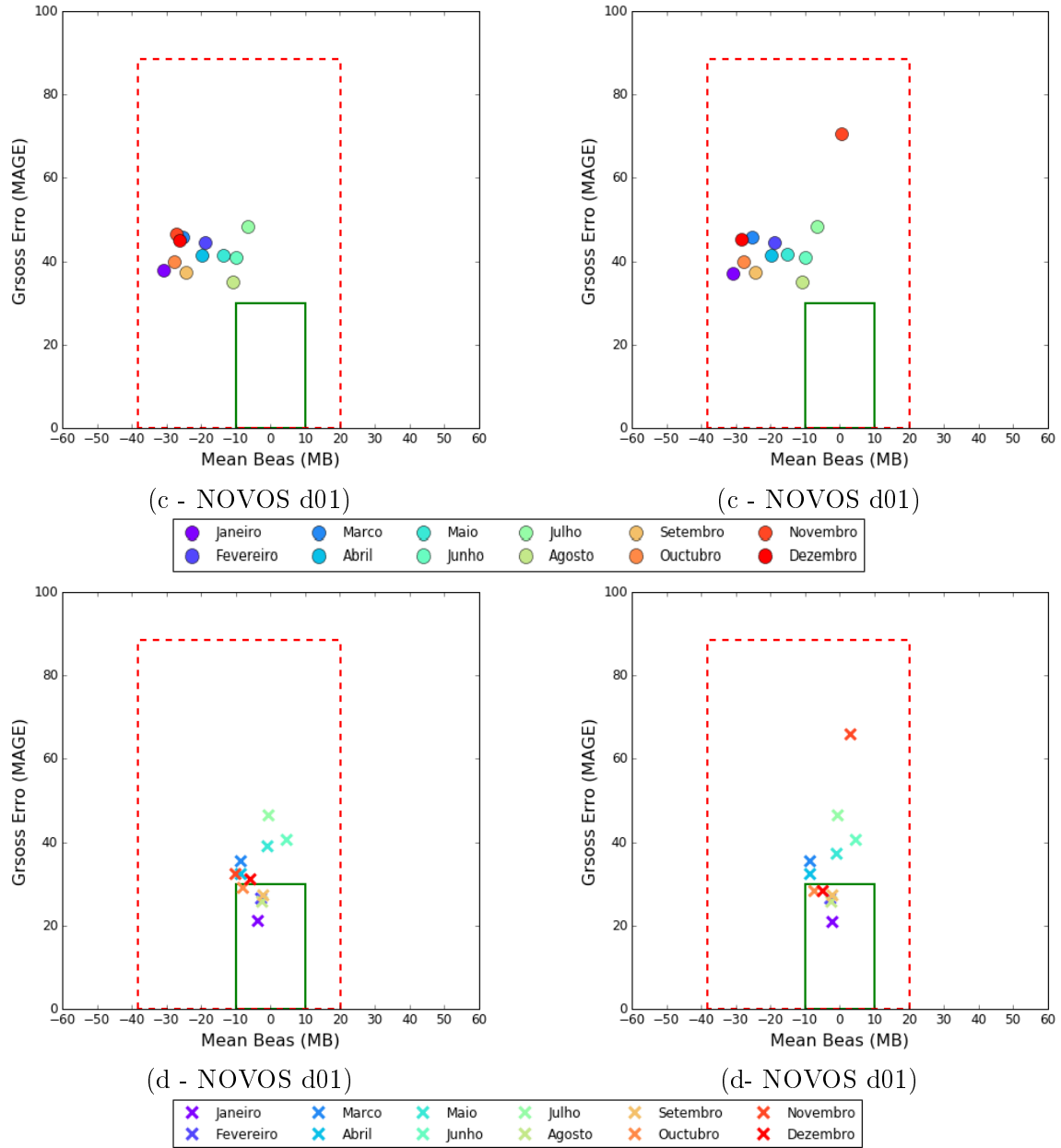


Figura 32 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da direção do vento com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina, c) Enseada do Suá e d) Ibes

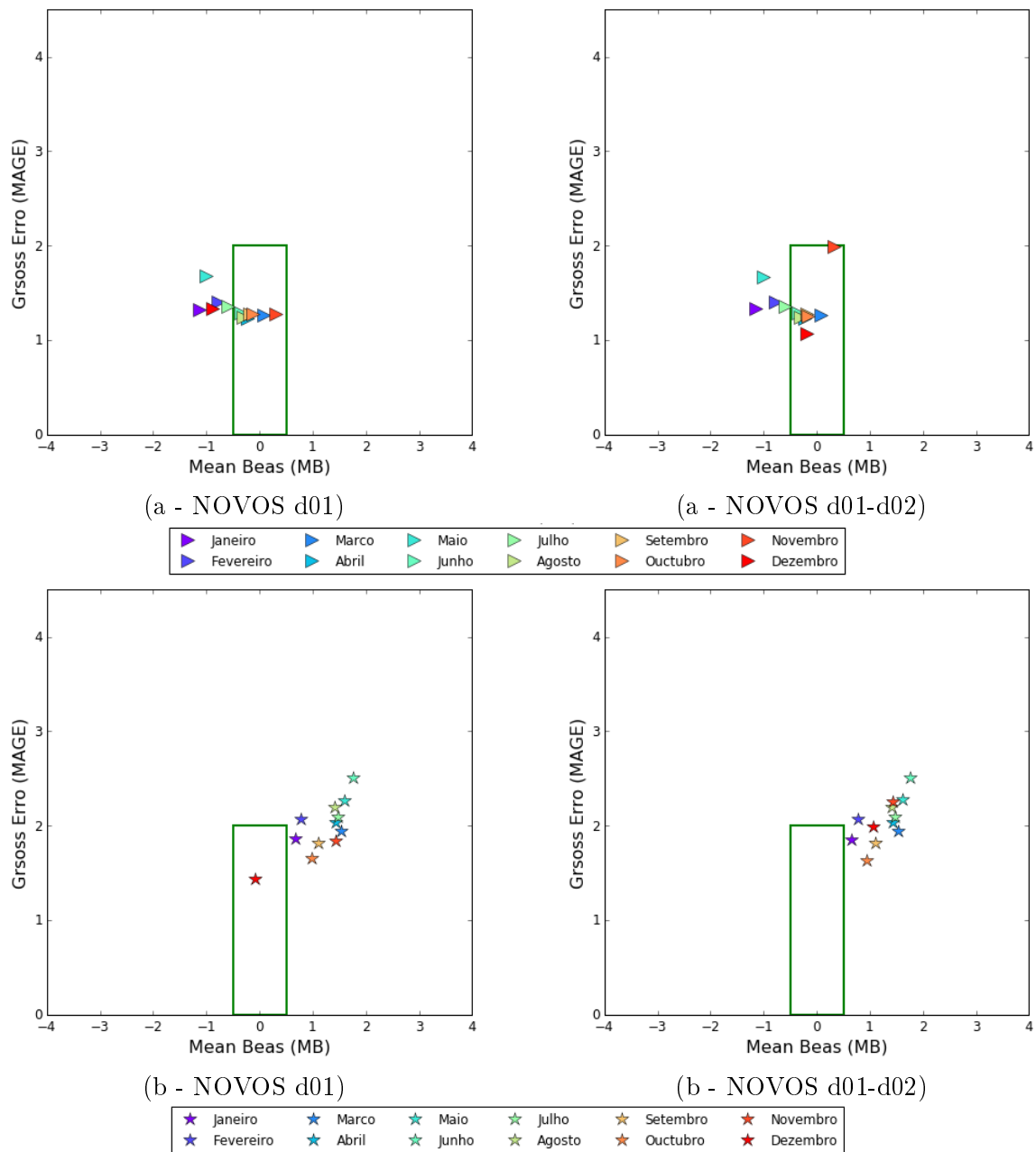


Figura 33: Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica

janeiro. Com modelagem com dados geográficos NOVOS o desempenho melhora embora quase em todos os meses esteja sobre-estimando a chuva produzida, tendo a maior diferença no mês de abril e o menor em janeiro e maio.

Quando a modelagem é influenciada pela assimilação de dados além do uso de dados IBGE va incrementando a estimacão de precipitaçãõ, sendo o do menor previsãõ quando é usado a influência do nudging para o domínio d02 só, assim, quando é usado a assimilação de

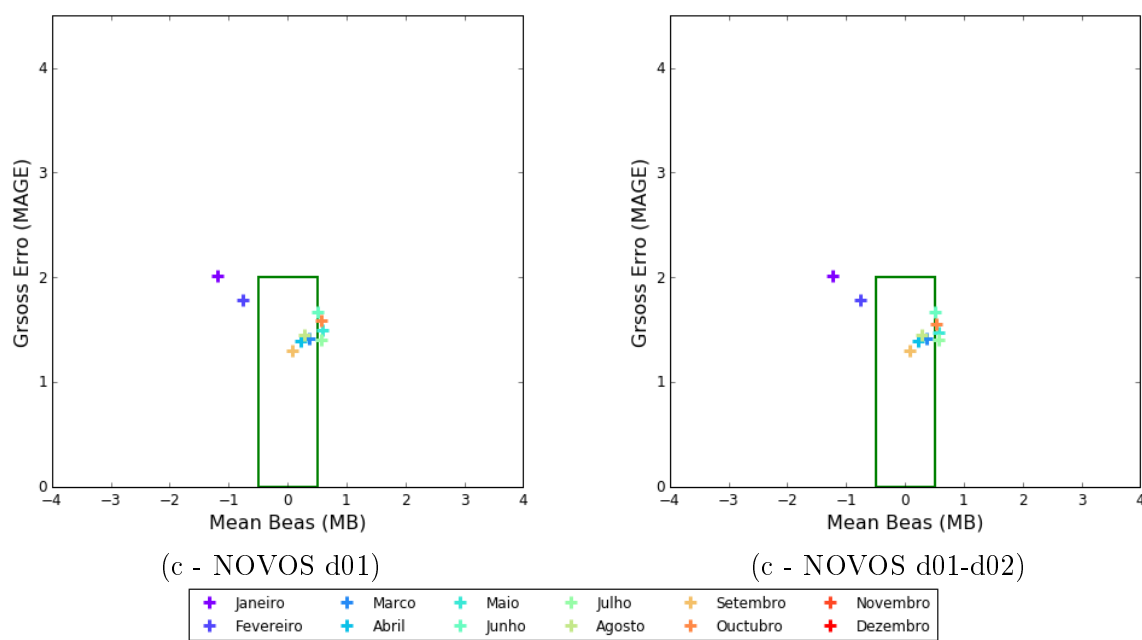


Figura 33 (Cont.): Desempenho das métricas para o ano todo da temperatura do ar com a influência do nudging para todas as Estações. Onde a) Aeroporto, b) Carapina e c) Cariacica

dados para o domínio d01 e d02 acrescenta mais ainda as previsões de precipitação.

Tabela 23: Precipitação mensal acumulada

Mês	Observação	USGS	NOVOS	NOVOS - d02	NOVOS - d01-d02
Janeiro	2,00	2,75	2,22	4,56	8,16
Fevereiro	33,80	150,68	166,67	163,41	163,41
Março	397,20	447,56	325,46	565,69	565,69
Abril	101,40	531,92	592,53	627,54	627,54
Maio	83,40	75,07	83,51	124,73	83,71
Junho	64,20	160,28	181,52	156,82	156,82
Julho	137,00	106,29	105,15	99,33	99,33
Agosto	13,80	79,99	120,83	107,27	107,27
Setembro	25,40	55,06	66,27	70,88	70,88
Outubro	66,40	136,53	95,38	85,35	115,10
Novembro	216,60	184,71	143,18	146,09	168,47
Dezembro	243,00	140,39	87,89	140,39	96,09

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho teve-se o objetivo de atualizar os dados de especificação de relevo e tipo e uso do solo, avaliando a influência destes parâmetros sobre a simulação WRF sobre a RGV, , junto com isto a assimilação de dados para domínio de modelagem que abrange a área da RMGV. Para atingir o objetivo foi realizado a divisão do trabalho em 3 partes; a primeira foi realizar a atualização dos dados de cobertura e uso de solo e tipo de solo e topografia, a segunda foi realizar as modelagens com os dados geográficos de entrada padrão versus o nova base de dados aderidas aos padrão (chamado de NOVOS) e finalmente foram feitos as modelagens com a base de dados geográficos NOVOS com a influência de dados de assimilação (*nudging*) tanto para o domínio d02 como para o d01 e d02, realizando os análises necessários segundo os parâmetros estatísticos recomendados com o objetivo de identificar o do melhor desempenho.

Para a atualização geográfica foram separados em três partes; relevo topográfico, uso e ocupação do solo e finalmente o tipo de solo. Na parte de relevo topográfico foi ampliada substancialmente a resolução atualizada passando de aproximadamente 900 metros para 90 metros. Para o uso e ocupação do solo, o USGS tem maior divisão de categorias que o NOVOS, mesmo assim, ambos não mostram a mesma distribuição de categorias. Porém, o uso e ocupação de solos mostrado segundo o NOVOS possui maior detalhamento e atualização, conseguindo incluir melhor centros urbanos menores e representar a mancha urbana da RGV com mais precisão. Para o tipo de solo, tanto para a base de dados fornecido por o USGS e o NOVOS ambos mostram a mesma quantidade de divisões de categorias, embora, não são as mesmas categorias, a representação NOVOS parece ser mais atualizada e compatível com a representação atual do solo brasileiro.

Para avaliar o impacto da atualização dos dados de relevo, ocupação e tipo de solo foram efetuadas simulações com os dados atualizados (NOVOS) e os dados originalmente disponibilizados pelo USGS. Os resultados das simulações foram comparados com dados experimentais medidos em estações de monitoramento meteorológico distribuídas na RGV. De maneira geral, as alterações nos resultados das simulações com a atualização dos dados

de relevo, ocupação e uso do solo são bastante sutis, porém notáveis. Os resultados obtidos indicam uma melhora dos indicadores estatísticos, principalmente para a estação do Aeroporto que é a mais adequada para medição das variáveis meteorológicas da região, sendo a única que está de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Meteorologia e não possui nenhuma edificação ou vegetação alta nas imediações. As outras estações estão incluídas na malha urbana, com grande proximidade de edificações e vegetação elevada (árvores).

Os indicadores estatísticos das comparações das simulações sem o uso de nudging, com a utilização do nudging somente para d02 e com a utilização do nudging para d01 e d02 foram bastante similares. Em alguns meses as simulações com a utilização do nudging para d01 e d02 mostraram uma leve piora de desempenho. De maneira geral os resultados melhores foram obtidos com a utilização do nudging somente para d02.

## 6.1 Recomendações Para Trabalhos Futuros

- O modelo WRF apresenta para a velocidade e direção do vento alto viés sobre planícies, vales e depressões que constituem uma limitação crescente do modelo em muitas aplicações, pode ser corrigido fazendo uso da parametrização topográfica.
- Como muitas outras aplicações, a análise e previsão a alta resolução depende da quantidade e a acurácia dos dados, tornando-se de vital importância a inclusão de dados pertencentes a uma rede de monitoramento meteorológico com maior abrangência.
- A estrutura vertical da atmosfera é muito importante, por esta razão recomenda-se melhorar as previsões mediante a assimilação de dados de rádio sondagem ou reportes de campanhas de medição satélites.
- A disponibilidade de dados de monitoramento é muito limitada e de grande importância, por esta razão recomenda-se utilizar métodos alternativos para realizar o nudging, mediante o grid-nudging e o spectral-nudging.
- É preciso ter melhor distribuição da estrutura vertical à que serão feitas as modelagens, isto mediante a reestruturação do níveis de pressão aos quais serão feitos as



modelagens.

- Utilizar o aninhamento de 1:3 (recomendado) ao invés de 1:5.
- Atualmente encontra-se disponível meteorológicos de reanalise de 0,25 graus, por isto torna-se importante as avaliações e uso destes dados.
- Na busca do conhecimento da estrutura da CLA é importante conhece-la por isso recomenda-se realizar comparações com dados de radiossondagem.

## Referências

- AMS. *Meteorology Glossary*. 2012. Disponível em: <[http://glossary.ametsoc.org/wiki/Data\\_assimilation](http://glossary.ametsoc.org/wiki/Data_assimilation)>.
- ANTONGIOVANNI, L. L.; COELHO, A. L. N. *Panorama sobre a desertificação no estado do Espírito Santo*. 2005. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr\\_desertif/\\_arquivos/panorama\\_espiritosanto.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/panorama_espiritosanto.pdf)>.
- BARKER, D. M.; HUANG, W.; GUO, Y.-R.; BOURGEOIS, A. J.; XIAO, Q. N. A three-dimensional variational data assimilation system for mm5: Implementation and initial results. *American Meteorological Society*, v. 132, p. 897 – 914, 2004.
- BHATI, S.; MOHAN, M. The impact of land use/land cover on wrf model performance in a sub-tropical urban environment. In: *9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*. [S.l.: s.n.], 2015.
- BORGE, R.; ALEXANDROV, V.; del Vas, J. J.; LUMBRERAS, J.; RODRÍGUEZ, E. A comprehensive sensitivity analysis of the wrf model for air quality applications over the iberian peninsula. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 8560 – 8574, 2008. Disponível em: <[doi:10.1016/j.atmosenv.2008.08.032](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.08.032)>.
- BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. *CORINE land cover technical guide - Addendum 200*. Copenhagen - Dinamarca: [s.n.], 2000. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>>.
- BOWDEN, J. H.; OTTE, T. L.; NOLTE, C. G.; OTTE, M. J. Examining interior grid nudging techniques using two-way nesting in the wrf model for regional climate modeling. *Journal of Climate*, v. 25, p. 2805–2823, 2012. Disponível em: <[DOI:10.1175/JCLI-D-11-00167.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00167.1)>.
- CARDOSO, R. M.; SOARES, P. M. M.; MIRANDA, P. M. A.; BELO-PEREIRA, M. Wrf high resolution simulation of iberian mean and extreme precipitation climate. *Royal Meteorological Society*, v. 33, p. 2591 – 2608, 2012. Disponível em: <[DOI:10.1002/joc.3616](https://doi.org/10.1002/joc.3616)>.
- CARROLL, K.; CAPEHART, W.; HJELMFELT, M. *High Resolution Modeling in WRF to Determine the Impact of Terrain Resolution on Low-Level Winds in Complex Terrain*. 2016. Disponível em: <<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2009/abstracts/P3B-32.pdf>>.
- CORREA, C. S.; OYAMA, M. D.; CAMILLO, G. L.; CALVETTI, L. Estudo de caso de convecção induzida pela topografia sobre a região sul do brasil. *Ciência e Natura*, v. 1, p. 83 – 102, 2010.
- COURTIER, P.; ANDERSSON, E.; HECKLEY, W.; VASILJEVIC, D.; HAMRUD, M.; HOLLINGSWORTH, A.; RABIER, F.; FISHER, M.; PAILLEUX, J. The ecmwf implementation of three-dimensional variational assimilation (3d-var). i: Formulation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 124, p. 1783 – 1807, 1998.

De MEIJ, A.; BOSSIOLI, E.; PENARD, C.; VINUESA, J. F.; PRICE, I. The effect of srtm and corine land cover data on calculated gas and pm10 concentrations in wrf-chem. *Atmospheric Environment*, El Sevier, v. 101, p. 177 – 193, 2015.

De MEIJ, A.; VINUESA, J. F. Impact of strm and corine land cover data on meteorological parameters using wrf. *Atmospheric Environment*, El Sevier, v. 143, p. 351 – 370, 2014.

EMERY, C.; TAI, E.; YARWOOD, G. *Enhanced meteorological modeling and performance evaluation for two Texas ozone episodes*. Austin - Texas, 2001.

EPA. *Photochemical Modeling*. 2016. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/scram001/photochemicalindex.htm>>.

FAST, J. D. Mesoscale modeling and four-dimensional data assimilation in areas of highly complex terrain. *Journal of applied meteorology*, v. 34, p. 2762 – 2782, 1995.

FILHO, O. M.; NETO, H. V. *Processamento Digital de Imagens*. Rio de Janeiro - Brasil: BRASPORT, 1999.

IBGE. *Biblioteca*. 2016. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=438878>>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de Uso da Terra*. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www2.uefs.br/geotropicos/manualusodaterra\\_83970.pdf](http://www2.uefs.br/geotropicos/manualusodaterra_83970.pdf)>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de pedologia*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2015*. Rio de Janeiro, 2015.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Relatório da Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória - 2013*. Espírito Santo, 2013.

IJSN - Instituto Jones do Santos Neves. *Perfil Regional - Região Metropolitana da Grande Vitória*. Espírito Santo, 2008.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS. *Description of the GLOBIOM-BRAZIL database available in the REDD-PAC WFS server*. Austria, 2015.

JIMÉNEZ, P. A.; DUDHIA, J. Improving the representation of resolved and unresolved topographic effects on surface wind in the wrf model. *JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY*, v. 51, p. 300 – 316, 2012. Disponível em: <DOI:10.1175/JAMC-D-11-084.1>.

JIMÉNEZ, P. A.; Gonzáles-Rouco, J. F.; García-Bustamante, E.; NAVARRO, J.; MONTÁVEZ, J. P.; ARELLANO, J. V. D.; DUDHIA, J.; Muños-Roldan, A. Surface wind regionalization over complex terrain: Evaluation and analysis of a high-resolution wrf simulation. *JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY*, v. 49, p. 268 – 287, 2010. Disponível em: <DOI:10.1175/2009JAMC2175.1>.

KALNAY, E. *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge - United Kingdom: Cambridge University Press, 2003.

LEIDNER, S. M.; STAUFFER, D. R.; SEAMAN, N. L. Improving short-term numerical weather prediction in the california coastal zone by dynamic initialization of the marine boundary layer. *American Meteorological Society*, v. 129, p. 275 – 294, 2001.

LIANG, X.-Z.; CHOI, H. I.; ; KUNKEL, K. E.; DAI, Y.; JOSEPH, E.; WANG, J. X.; KUMAR, P. *Development of the Regional Climate-Weather Research and Forecasting (CWRf) Model: Surface Boundary Conditions*. Illinois, 20005. Disponível em: <<http://www.isws.illinois.edu/pubdoc/sr/iswssr2005-01.pdf>>.

LORENA, R. B.; BERGAMASCHI, R. B.; JABOR, P. M.; JÚNIOR, F. J. T. Mapeamento e análise do uso e cobertura da terra do estado do espírito santo 2010, a partir de imagens de sensoriamento remoto. *INPE*, p. 7695 – 7701, 2013.

LORENC, A. C.; BALLARD, S. P.; BELL, R. S.; INGLEBY, N. B.; ANDREWS, P. L. F.; BARKER, D. M.; BRAY, J. R.; CLAYTON, A. M.; DALBY, T.; LI, D.; PAYNE, T. J.; SAUNDERS, F. W. The met. office global three-dimensional variational data assimilation scheme. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 126, p. 2991 – 3012, 2000.

LORIATO, A. G. *ESTUDO DO TRANSPORTE ATMOSFÉRICO DE MP10 E SO2 COM OS MODELOS WRF/CMAQ EM REGIÕES COSTEIRAS URBANAS*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Espírito Santo, Vitoria - Brasil, 2015.

MA, D.; BOOS, W.; KUANG, Z. Effects of orography and surface heat fluxes on the south asian summer monsoon. *American Meteorological Society*, v. 27, p. 6647 – 6659, 2014.

MM5. *MM5 Modeling System Overview*. 2015. Disponível em: <<http://www2.mmm.ucar.edu/mm5/overview.html>>.

NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. *WRF-ARW V3: User's Guide*. [S.l.], 2014. Disponível em: <[http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_V3/contents.html](http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html)>.

NCEP. *The GFS Atmospheric Model. NCEP Office Note 442*. Global Climate and Weather Modeling Branch, 2003.

NCL. *NCL Documentation*. 2015. Disponível em: <<https://www.ncl.ucar.edu/Document/>>.

NTWALI, D.; OGWANG, B. A.; ONGOMA, V. The impacts of topography on spatial and temporal rainfall distribution over rwanda based on wrf model. *Atmospheric and Climate Sciences*, v. 6, p. 145 – 157, 2016.

PEDRUZZI, R. *Avaliação do desempenho fotoquímico CMAQ utilizando diferentes condições de contorno em uma região urbana e industrializada*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Espírito Santo, Vitoria - Brasil, 2016.

POHL, B.; CRÉTAT, J. On the use of nudging techniques for regional climate modeling: application for tropical convection. *Springer*, v. 43, p. 1693 – 1714, 2013.

REBOREDO, B.; ARASA, R.; CODINA, B. Evaluating sensitivity to different options and parameterizations of a coupled air quality modelling system over bogotá, colombia. part i: Wrf model configuration. *Open Journal of Air Pollution*, v. 4, p. 47 – 64, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/ojap.2015.42006>>.

REEN, B. *A Brief Guide to Observation Nudging in WRF*. Boulder - Colorado, 2016.

RIOS, R. O.; ALMEIDA, M. das Graças de; FILHO, H. dos S. *Estudo quantitativo do uso e ocupação do solo da cidade de Vitória-ES, utilizando o método de dividir para conquistar e a fusão dos multissensores CCD/HRC do satélite CBERS-2B*. 2011. 7737 - 7744 p.

SALAS, C. B. *APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: ANÁLISIS DEL PROCESO*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Chile, Santiago - Chile, 2004.

SALVADOR, N. *Estudo da camada limite atmosférica em Regiões Metropolitanas Costeiras com Simulações de brisa*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Espírito Santo, Vitoria - Brasil, 2014.

SANTIAGO, A. M. aes. *Simulação da camada limite planetária sobre a região metropolitana da grande Vitória com o uso do modelo de mesoescala WRF*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Espírito Santo, Vitoria - Brasil, 2009.

SANTIAGO, A. M. aes. *Formação e transporte de material particulado na Região Metropolitana da Grande Vitória: utilização e avaliação de desempenho do modelo CMAQ*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Espírito Santo, Vitoria - Brasil, 2015.

SANTOS-ALAMILLOS, F. J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; RUIZ-ARIAS, J. A.; TOVAR-PESCADOR, J. Influence of land-use misrepresentation on the accuracy of wrf wind estimates: Evaluation of glcc and corine land-use maps in southern spain. *Atmospheric Environment*, El Sevier, v. 157, p. 17 – 28, 2015.

SCHICKER, I.; ARIAS, D. A.; SEINBERT, P. Influences of upgrted land-use datasets on wrf simulations for two austrian regions. American Geophysical Union, 2015. Disponível em: <[doi:10.1007/s00703-015-0416-y](https://doi.org/10.1007/s00703-015-0416-y)>.

SCHICKER, I.; ARNOLD, D.; MORTON, D.; SEINBERT, P. Effects of updated land-use in wrf over mountainous terrain. *Meteorol Atmos Phys*, 2011. Disponível em: <[2011AGUFM.A53B0339S](https://doi.org/10.1007/s00703-011-0339-5)>.

SERTEL, E.; ROBOCK, A.; ORMECI, C. Impacts of land cover data quality on regional climate simulations. *International Journal of Climatology*, 2019. Disponível em: <[doi:10.1002/joc.2036](https://doi.org/10.1002/joc.2036)>.

STAUFFER, D. R.; SEAMAN, N. L. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. part i: experiments with synoptic-scale data. *Monthly weather review*, v. 118, p. 1250 – 1277, 1990. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1990\)118<1250:UOFDDA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1250:UOFDDA>2.0.CO;2)>.

STAUFFER, D. R.; SEAMAN, N. L. Multiscale four-dimensional data assimilation. *Journal of applied meteorology*, v. 33, p. 416 – 434, 1994. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0416:MFDDA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0416:MFDDA>2.0.CO;2)>.

STULL, R. B. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Dordrecht - Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988.

TEIXEIRA, J. C.; CARVALHO, A. C.; CARVALHO, M. J.; LUNA, T.; ROCHA, A. Sensitivity of the wrf model to the lower boundary in an extreme precipitation event – madeira island case study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 14, p. 2009 – 2025, 2014. Disponível em: <doi:10.5194/nhess-14-2009-2014>.

USEPA. *Draft Modeling Guidance for Demonstrating Attainment of Air Quality Goals for Ozone, PM<sub>2.5</sub>, and Regional Haze*. [S.l.], 2014. Disponível em: <[https://www3.epa.gov/scram001/guidance/guide/Draft\\_O3-PM-RH\\_Modeling\\_Guidance-2014.pdf](https://www3.epa.gov/scram001/guidance/guide/Draft_O3-PM-RH_Modeling_Guidance-2014.pdf)>.

VORMITTAG, E. M. P. A. de A.; COSTA, R. R. da; BRAGA, A. A.; MIRANDA, M.; NASCIMENTO, N. C. do; SALDIVA, P. H. N. *Monitoramento da qualidade do ar Brasil*. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2014/07/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar-no-Brasil-2014.pdf>>.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. San Diego - California - USA: ELSEVIER, 2006.

ZHANG, H.; CHEN, G.; HU, J.; CHEN, S.-H.; CHRISTINE WIEDINMYER; KLEEMAN, M.; YING, Q. Evaluation of a seven-year air quality simulation using the weather research and forecasting (wrf)/community multiscale air quality (cmaq) models in the eastern united states. *Science of the Total Environment*, p. 275 – 285, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.121>>.

## Anexos A

Tabela A.1: Resumo estatístico velocidade do vento Estação Carapina

ESTAÇÃO CARAPINA												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA
Janeiro	2,447	1,993	0,49	x 2,144	1,684	0,514	2,132	1,669	0,515	2,138	1,670	0,514
Fevereiro	2,213	1,784	0,523	1,916	1,419	0,559	1,903	1,423	0,567	1,903	1,423	0,566
Março	2,763	2,309	0,368	2,340	1,888	0,410	2,293	1,811	0,410	2,293	1,811	0,410
Abril	2,415	1,985	0,424	2,365	1,909	0,434	2,376	1,925	0,428	2,376	1,925	0,428
Maiο	2,484	2,039	0,374	1,952	1,464	0,449	1,955	1,469	0,448	1,967	1,479	0,442
Junho	3,066	2,544	0,361	2,579	1,926	0,416	2,521	1,885	0,423	2,521	1,885	0,423
Julho	2,315	1,91	0,369	1,868	1,443	0,433	1,856	1,434	0,441	1,856	1,434	0,441
Agosto	3,501	3,149	0,348	2,861	2,451	0,397	2,873	2,472	0,396	2,873	2,472	0,396
Setembro	3,888	3,559	0,349	3,191	2,869	0,395	3,177	2,853	0,396	3,177	2,853	0,396
Outubro	3,923	3,483	0,356	3,203	2,759	0,399	3,217	2,764	0,397	3,198	2,762	0,400
Novembro	3,728	3,287	0,333	3,172	2,719	0,372	3,148	2,701	0,373	3,376	2,707	0,272
Dezembro	3,557	3,248	0,340	3,019	2,672	0,367	3,557	3,248	0,340	3,018	2,674	0,365



Tabela A.2: Resumo estatístico velocidade do vento Estação Enseada do Suá

ESTAÇÃO ENSEADA DO SUÁ												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA
Janeiro	1,485	0,515	0,725	1,828	1,079	0,701	1,829	1,086	0,698	1,820	1,100	0,699
Fevereiro	1,733	0,457	0,645	2,011	1,065	0,659	1,939	1,045	0,674	1,939	1,045	0,674
Março	1,973	1,174	0,509	2,377	1,706	0,501	2,380	1,692	0,501	2,380	1,692	0,501
Abril	2,706	1,977	0,414	2,654	1,939	0,421	2,678	1,978	0,416	2,678	1,978	0,416
Maiο	1,955	1,193	0,435	2,134	1,275	0,432	2,133	1,281	0,435	2,119	1,279	0,438
Junho	2,285	1,496	0,439	2,561	1,659	0,421	2,546	1,657	0,425	2,546	1,657	0,425
Julho	1,556	0,825	0,569	1,690	0,955	0,592	1,686	0,977	0,596	1,686	0,977	0,596
Agosto	2,461	1,751	0,464	3,042	2,338	0,429	3,047	2,341	0,428	3,049	2,341	0,428
Setembro	2,788	2,339	0,482	3,599	3,104	0,417	3,617	3,139	0,417	3,617	3,139	0,417
Outubro	3,069	2,462	0,414	3,895	3,268	0,356	3,903	3,279	0,355	3,937	3,319	0,351
Novembro	2,510	1,990	0,494	3,338	2,768	0,419	3,334	2,771	0,421	3,550	2,712	0,329
Dezembro	2,283	1,566	0,493	2,962	2,351	0,439	2,283	1,566	0,493	2,961	2,366	0,442

Tabela A.3: Resumo estatístico velocidade do vento Estação Ibés

ESTAÇÃO IBES												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA
Janeiro	1,164	0,201	0,759	1,262	0,459	0,765	1,294	0,453	0,756	1,279	0,424	0,751
Fevereiro	1,312	0,294	0,746	1,537	0,523	0,712	1,461	0,512	0,723	1,461	0,512	0,723
Março	1,693	0,875	0,601	1,782	1,057	0,599	1,793	1,051	0,594	1,793	1,051	0,594
Abril	2,066	1,215	0,574	2,023	1,165	0,570	2,057	1,194	0,562	2,057	1,194	0,562
Maior	1,703	0,765	0,606	1,766	0,799	0,598	1,766	0,806	0,597	1,727	0,771	0,603
Junho	1,959	1,088	0,593	2,032	1,141	0,595	1,985	1,101	0,605	1,985	1,101	0,605
Julho	1,336	0,535	0,639	1,325	0,562	0,653	1,329	0,567	0,646	1,329	0,567	0,646
Agosto	2,060	1,380	0,569	2,193	1,519	0,565	2,195	1,523	0,564	2,195	1,523	0,564
Setembro	2,024	1,569	0,612	2,249	1,763	0,585	2,251	1,764	0,585	2,251	1,764	0,585
Outubro	2,324	1,624	0,569	2,659	1,876	0,539	2,656	1,857	0,539	2,621	1,851	0,544
Novembro	2,063	1,353	0,599	2,352	1,642	0,563	2,365	1,642	0,563	2,751	1,588	0,383
Dezembro	1,743	0,966	0,601	1,586	1,218	0,571	1,743	0,966	0,601	1,984	1,213	0,572

Tabela A.4: Resumo estatístico velocidade do vento Estação Cariacica

ESTAÇÃO CARIACICA												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA
Janeiro	1,686	1,242	0,481	1,773	1,274	0,449	1,784	1,287	0,450	1,764	1,269	0,447
Fevereiro	1,592	1,081	0,579	1,784	1,223	0,531	1,769	1,231	0,538	1,769	1,231	0,538
Março	1,855	1,269	0,463	2,028	1,466	0,428	1,639	1,425	0,435	1,985	1,425	0,435
Abril	2,222	1,644	0,451	2,208	1,655	0,451	2,202	1,657	0,536	2,202	1,657	0,454
Maio	1,755	1,107	0,497	1,822	1,167	0,482	1,833	1,176	0,475	1,787	1,137	0,484
Junho	2,146	1,421	0,469	2,222	1,468	0,463	2,169	1,452	0,474	2,169	1,452	0,474
Julho	1,609	1,007	0,481	1,621	1,043	0,482	1,627	1,052	0,483	1,627	1,052	0,483
Agosto	2,416	1,922	0,421	2,549	2,069	0,409	2,545	2,073	0,413	2,545	2,073	0,413
Setembro	2,857	2,512	0,369	2,981	2,628	0,361	1,154	2,614	0,365	2,962	2,614	0,365
Outubro	2,567	2,049	0,412	2,852	2,254	0,389	2,844	2,259	0,393	2,847	2,269	0,391
Novembro	2,516	1,964	0,418	2,701	2,118	0,403	2,692	2,103	0,402	2,861	2,043	0,306
Dezembro	2,387	1,913	0,389	2,458	1,940	0,387	2,387	1,913	0,389	2,445	1,946	0,385

Tabela A.5: Resumo estatístico velocidade do vento Estação Aeroporto

ESTAÇÃO AEROPORTO												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA	RMSE	MB	IOA
Janeiro	2,695	-1,152	0,711	2,726	-1,196	0,697	2,741	-1,187	0,691	2,768	-1,227	0,689
Fevereiro	2,636	-0,746	0,689	2,581	-0,719	0,699	2,579	-0,718	0,697	2,579	-0,718	0,697
Março	2,302	0,159	0,685	2,324	0,068	0,655	2,311	0,015	0,654	2,311	0,015	0,654
Abril	2,625	0,223	0,614	2,617	0,219	0,617	2,598	0,227	0,622	2,598	0,227	0,622
Maió	2,083	0,549	0,647	1,969	0,191	0,670	1,970	0,201	0,668	1,971	0,188	0,669
Junho	2,326	1,036	0,682	2,173	0,725	0,717	2,145	0,669	0,716	2,145	0,669	0,716
Julho	1,991	0,581	0,627	1,773	0,328	0,695	1,763	0,297	0,698	1,763	0,296	0,698
Agosto	2,258	0,821	0,741	2,308	0,479	0,707	2,303	0,472	0,707	2,303	0,472	0,707
Setembro	2,597	0,528	0,736	2,7112	0,256	0,676	2,708	0,255	0,674	2,708	0,254	0,674
Outubro	2,179	0,496	0,804	2,206	0,065	0,771	2,203	0,074	0,773	2,196	0,099	0,774
Novembro	2,377	0,523	0,743	2,328	0,327	0,738	2,324	0,313	0,738	3,220	0,344	0,473
Dezembro	2,535	-0,449	0,712	2,738	-0,582	0,642	2,535	-0,449	0,712	2,725	-0,592	0,646

Tabela A.6: Resumo estatístico direção do vento Estação Carapina

ESTAÇÃO CARAPINA													
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02			
	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	
Janeiro	17,895	0,315	0,423	20,505	2,065	0,314	20,529	1,990	0,309	20,259	2,977	0,341	
Fevereiro	25,439	1,999	0,491	27,729	1,940	0,399	27,259	3,430	0,372	27,259	3,430	0,372	
Março	31,729	-7,609	0,294	33,257	-9,131	0,161	33,653	-9,793	0,211	33,653	-9,793	0,211	
Abril	37,282	-11,327	0,404	36,749	-11,213	0,534	37,588	-11,676	0,541	37,588	-11,671	0,541	
Maiø	30,579	-3,374	0,374	30,242	-7,074	0,431	30,458	-7,659	0,419	31,134	-7,647	0,401	
Junho	33,988	-2,006	0,330	36,319	-5,891	0,301	36,216	-2,772	0,299	36,216	-2,772	0,299	
Julho	41,899	-2,342	0,371	42,791	-4,968	0,370	42,619	-6,543	0,374	42,619	-6,543	0,374	
Agosto	26,919	3,658	0,474	28,150	4,777	0,472	27,729	5,023	0,485	27,728	5,023	0,485	
Setembro	27,199	-1,211	0,296	28,255	-1,471	0,333	27,974	-1,118	0,329	27,974	-1,118	0,329	
Outubro	28,319	0,826	0,356	29,323	-1,512	0,264	29,629	-1,529	0,236	30,272	-0,426	0,322	
Novembro	33,535	-7,816	0,337	36,346	-10,627	0,239	37,229	-7,860	0,249	67,507	7,749	0,169	
Dezembro	25,111	0,658	0,288	27,359	1,019	0,212	25,111	0,658	0,288	27,964	2,168	0,216	

Tabela A.7: Resumo estatístico direção do vento Estação Enseada do Suaú

ESTACÃO ENSEADA DO SUAÚ												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r
Janeiro	38,698	-30,054	0,288	37,607	-30,699	0,315	37,749	-30,917	0,304	37,083	-30,794	0,324
Fevereiro	45,787	-18,648	0,334	44,799	-19,883	0,342	44,454	-18,810	0,340	44,454	-18,810	0,340
Março	48,445	-20,655	0,176	45,460	-24,637	0,183	45,649	-25,259	0,157	45,649	-25,259	0,157
Abril	40,942	-20,649	0,289	40,277	-19,486	0,269	41,427	-19,752	0,251	41,427	-19,752	0,251
Maião	42,439	-8,540	0,457	41,623	-14,537	0,392	41,403	-13,755	0,432	41,629	-15,240	0,416
Junho	42,603	-6,138	0,404	42,179	-12,962	0,447	40,978	-9,992	0,443	40,978	-9,992	0,443
Julho	53,599	-0,098	0,414	48,221	-7,549	0,403	48,358	-6,584	0,428	48,358	-6,584	0,428
Agosto	34,172	-11,804	0,459	34,711	-12,193	0,518	35,112	-10,802	0,514	35,112	-10,802	0,514
Setembro	38,647	-25,268	0,286	37,179	-23,711	0,430	37,409	-24,297	0,409	37,409	-24,297	0,409
Outubro	40,284	-26,579	0,191	40,211	-27,092	0,305	39,785	-27,690	0,281	39,913	-27,836	0,279
Novembro	47,241	-25,067	0,224	47,101	-27,022	0,267	46,643	-27,001	0,305	70,662	0,404	0,144
Dezembro	44,951	-26,265	0,155	44,947	-27,821	0,181	44,951	-26,265	0,155	45,288	-28,341	0,197

Tabela A.8: Resumo estatístico direção do vento Estação Ibés

ESTAÇÃO IBES													
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02			
	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	
Janeiro	22,218	-3,713	0,473	20,455	-2,898	0,503	21,098	-3,795	0,471	20,934	-2,213	0,466	
Fevereiro	31,690	-2,439	0,441	26,674	-4,430	0,472	26,569	-2,976	0,459	26,569	-2,976	0,459	
Março	39,158	-6,394	0,192	35,434	-10,818	0,304	35,421	-8,730	0,272	35,421	-8,730	0,272	
Abril	32,662	-6,615	0,346	33,000	-8,991	0,409	32,533	-8,656	0,374	32,533	-8,656	0,374	
Maiο	44,154	1,392	0,271	39,507	-1,404	0,364	39,195	-0,956	0,348	37,349	-1,190	0,344	
Junho	43,535	2,176	0,291	39,063	3,901	0,425	40,534	4,461	0,369	40,534	4,461	0,369	
Julho	55,533	1,973	0,278	45,530	1,664	0,399	46,555	-0,839	0,361	46,555	-0,839	0,361	
Agosto	29,037	-0,056	0,369	27,264	-1,844	0,340	25,871	-2,558	0,358	25,871	-2,558	0,358	
Setembro	28,638	-6,650	0,448	27,644	-1,187	0,436	27,393	-2,388	0,479	27,393	-2,388	0,479	
Outubro	29,768	-10,136	0,214	29,831	-7,927	0,336	29,241	-7,967	0,331	28,451	-7,613	0,376	
Novembro	34,683	-13,764	0,163	32,665	-10,578	0,378	32,385	-10,369	0,362	65,951	2,860	0,276	
Dezembro	31,252	-5,955	0,227	28,538	-4,748	0,231	31,252	-5,9554	0,227	28,283	-4,899	0,277	

Tabela A.9: Resumo estatístico direção do vento Estação Aeroporto

ESTAÇÃO AEROPORTO													
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02			r
	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	MAGE	MB	r	
Janeiro	25,593	-13,988	0,127	25,813	-12,881	0,061	24,877	-13,399	0,111	24,711	-11,945	0,113	
Fevereiro	31,764	-15,459	0,310	31,199	-13,867	0,277	31,604	-12,318	0,274	31,604	-12,318	0,274	
Março	41,203	-11,987	0,226	41,972	-17,808	0,145	41,309	-18,976	0,175	41,309	-18,976	0,175	
Abril	42,963	-19,769	0,339	43,729	-19,528	0,305	43,573	-20,838	0,282	43,573	-20,838	0,282	
Maiο	42,298	-20,632	0,187	42,046	-18,224	0,171	42,340	-21,202	0,157	42,237	-18,698	0,133	
Junho	45,362	-22,438	0,148	46,919	-21,868	0,138	45,468	-21,158	0,187	45,468	-21,158	0,187	
Julho	54,542	24,409	0,120	54,012	-17,925	0,072	54,258	-20,219	0,119	54,258	-20,219	0,119	
Agosto	33,952	-8,462	0,268	33,956	-7,529	0,280	33,757	-8,507	0,292	33,757	-8,507	0,292	
Setembro	33,270	-9,744	0,306	33,332	-9,359	0,334	33,655	-9,597	0,302	33,655	-9,597	0,303	
Outubro	31,362	-14,239	0,393	32,786	-16,689	0,387	32,789	-15,888	0,371	32,305	-14,429	0,394	
Novembro	44,229	-15,129	0,279	44,924	-15,868	0,282	45,310	-15,518	0,305	69,551	-5,619	0,199	
Dezembro	29,623	-10,767	0,093	30,167	-9,243	0,136	29,623	-10,767	0,093	30,174	-10,545	0,121	



Tabela A.10: Resumo estatístico temperatura Estação Carapina

ESTAÇÃO CARAPINA												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA
Janeiro	1,522	-1,081	0,888	1,868	0,682	0,853	1,862	0,671	0,853	1,849	0,659	0,854
Fevereiro	1,631	-0,959	0,872	2,091	0,791	0,831	2,074	0,769	0,832	2,074	0,769	0,832
Março	1,254	0,053	0,919	1,975	1,589	0,843	1,946	1,538	0,848	1,946	1,538	0,848
Abril	2,048	1,499	0,814	2,037	1,436	0,816	2,035	1,435	0,815	2,035	1,435	0,815
Maior	1,529	0,037	0,897	2,274	1,616	0,798	2,266	1,599	0,797	2,276	1,609	0,796
Junho	1,571	0,191	0,905	2,515	1,759	0,796	2,514	1,751	0,796	2,514	1,751	0,796
Julho	1,279	-0,003	0,921	2,123	1,489	0,802	2,098	1,479	0,805	2,098	1,479	0,805
Agosto	1,604	0,404	0,916	2,197	1,382	0,849	2,199	1,405	0,850	2,199	1,405	0,850
Setembro	1,343	0,277	0,912	1,805	1,095	0,855	1,812	1,097	0,854	1,812	1,097	0,854
Outubro	1,367	0,133	0,891	1,661	0,990	0,849	1,659	0,979	0,849	1,631	0,930	0,849
Novembro	1,329	0,455	0,897	1,836	1,414	0,848	1,840	1,422	0,847	2,262	1,429	0,736
Dezembro	1,441	-0,081	0,885	1,986	1,066	0,832	1,441	-0,081	0,885	1,989	1,067	0,832



Tabela A.12: Resumo estatístico temperatura Estação Aeroporto

ESTAÇÃO AEROPORTO												
	USGS			NOVOS			NOVOS - d02			NOVOS - d01 e d02		
	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA	MAGE	MB	IOA
Janeiro	1,925	-1,879	0,850	1,331	-1,134	0,922	1,328	-1,132	0,921	1,333	-1,153	0,921
Fevereiro	1,816	-1,556	0,859	1,387	-0,753	0,914	1,399	-0,782	0,911	1,399	-0,783	0,911
Março	1,278	-0,376	0,906	1,257	0,107	0,908	1,262	0,070	0,909	1,262	0,070	0,909
Abril	1,233	-0,167	0,899	1,224	-0,215	0,901	1,231	-0,219	0,898	1,232	-0,219	0,898
Maiο	1,566	-1,018	0,879	1,655	-0,997	0,885	1,678	-1,014	0,884	1,667	-1,008	0,884
Junho	1,344	-0,428	0,917	1,305	-0,358	0,931	1,293	-0,349	0,933	1,293	-0,349	0,933
Julho	1,339	-0,666	0,909	1,372	-0,600	0,920	1,357	-0,590	0,921	1,357	-0,590	0,921
Agosto	1,358	-0,459	0,935	1,238	-0,311	0,952	1,247	-0,301	0,952	1,247	-0,301	0,952
Setembro	1,395	-0,557	0,905	1,265	-0,178	0,928	1,282	-0,184	0,927	1,282	-0,184	0,927
Outubro	1,318	-0,558	0,909	1,269	-0,115	0,923	1,272	-0,120	0,923	1,258	-0,162	0,924
Novembro	1,271	-0,166	0,905	1,271	0,305	0,912	1,282	0,302	0,911	1,989	0,324	0,767
Dezembro	1,333	-0,890	0,906	1,063	-0,213	0,943	1,333	-0,890	0,906	1,066	-0,187	0,941

Figura 34: Rosa dos ventos para a Estação Aeroporto

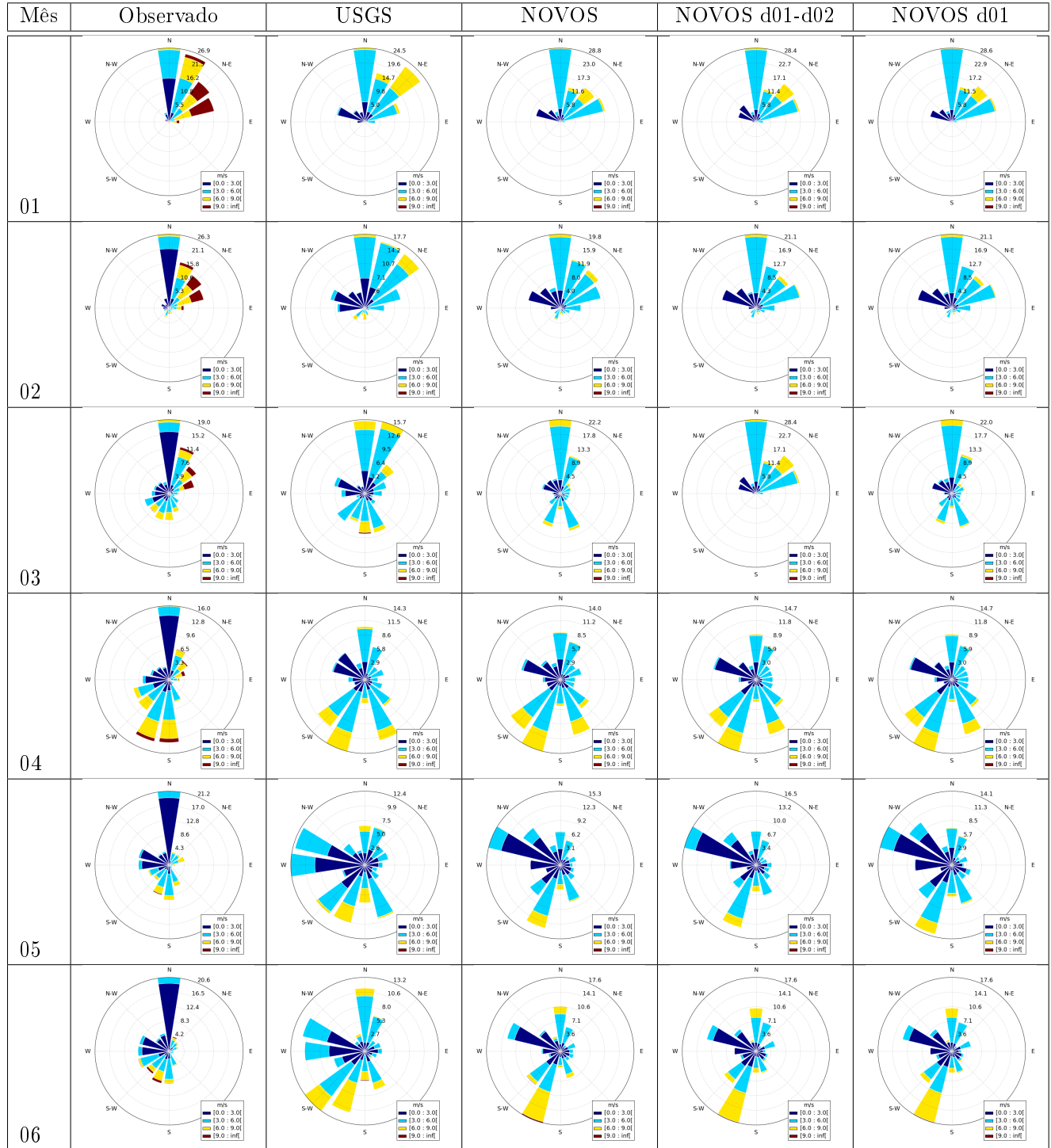


Figura 34 (Cont.): Rosa dos ventos para a Estação Aeroporto

